

INTEGRAÇÃO NA EQUIPA DE SUPORTE DE FEATURECAM NA NORCAM

MIGUEL RUSSO PEREIRA RIBEIRO GRAÇA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS

ORIENTADOR:

PROFESSOR VÍTOR MARTINS AUGUSTO

Agradecimentos

Ao Professor Vítor Martins Augusto, por ter aceitado ser meu orientador e desta forma auxiliar-me na transição do meio académico para o meio empresarial e industrial.

Ao Engº Pedro Vieira de Castro, por permitir a realização do estágio na Norcam, assim como pela sua disponibilidade.

À Norcam e todos os seus colaboradores, pela forma como me receberam na empresa e pela disponibilização dos recursos necessários para a realização e conclusão deste trabalho.

Ao Pedro Turner, da Norcam, pela colaboração e disponibilidade em partilhar o seu conhecimento.

Ao Engº Bruno Couto, da Norcam, pela colaboração e disponibilidade prestada.

À DISTRIM 2, por ter disponibilizado os seus recursos.

Aos meus Pais.

Resumo

A realização do presente trabalho surge no âmbito da dissertação de mestrado para conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, sob a forma de relatório de estágio, respeitante a um estágio curricular realizado em meio empresarial. Durante este período, foi possível consolidar e aprofundar a aprendizagem realizada durante o trabalho de seminário que precedeu, como forma de preparação, o presente estágio. Ao longo do documento estão relatadas as tarefas propostas e respetiva metodologia de resolução.

Foi proposto um estudo comparativo entre duas aplicações CAM, concretamente PowerMILL e FeatureCAM. Antes de dar início à tarefa, foi necessária a aprendizagem da última aplicação, de forma a tornar-se possível efetuar o estudo. O estudo consistiu na comparação de ferramentas de edição, tempos de programação e simulação, e análise de dois casos-tipo no que diz respeito ao preço, em grandezas percentuais, e instrução do utilizador. A implementação de um torno/fresa no grupo VANGEST surge como tarefa proposta perto do fim da duração do estágio. Inicialmente é efetuada a recolha da informação necessária, que inclui o tipo de máquina, controlador e pós-processador, seguindo-se as etapas de modelação em CAD de uma peça-teste e respetiva programação em FeatureTURN/MILL, e afinação de ambos ficheiros de simulação de máquina e pós-processador. Por fim, é abordada a metodologia utilizada para resolução das adversidades encontradas.

Considero que o resultado deste trabalho é uma boa ferramenta para a NORCAM, no que diz respeito ao aconselhamento dos produtos que melhor se adequam às necessidades dos clientes, tal como uma boa base bibliográfica para tomar conhecimento das situações que poderão ocorrer na implementação de um centro de maquinagem semelhante.

Abstract

This internship work was carried under a company environment, and is due to the final dissertation of a college course, thus representing the conclusion of the Master in Metallurgical and Materials Engineering, in FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. During this time, the skills learned during the seminar work, previously done in anticipation to the current one, proved crucial to the realization of several tasks that permitted the growth of said skills, as well as the acquisition of new ones. Throughout this internship report are found the descriptions of given tasks along with the methodology used solving them.

A comparative study between two CAM softwares, namely PowerMILL and FeatureCAM was suggested. Before grasping this task, however, the learning of the latter software was required, and so it took place. The study consisted in the comparison of available editing tools, required times for programming and machining, and the analysis of two typical business scenarios regarding price - in percentage quantities - and operator skills. The opportunity of an implementation of a turn/mill in the VANGEST group arises near the end of the internship, and is carried through. Firstly, information regarding the kind of turn/mill, controller, and post-processor is gathered and is followed by the tridimensional CAD modelling of a work piece, for testing purposes, and then its programming in FeatureTURN/MILL. The fine-tuning of both *Machine Design* and post-processor files takes place. Lastly, the methodology used to solve encountered problems is addressed.

I believe that the outcome of this internship work is a good work tool for NORCAM, in that which regards the better counseling of its products, allowing to better suite customer needs, as well as a good bibliography resource regarding the kind of events that may take place during the implementation of a similar machine.

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Índice de figuras	viii
Índice de tabelas	x
Objetivo	1
1 Introdução	2
1.1 A empresa	2
1.2 Enquadramento	2
2 Estudo Comparativo PowerMILL Vs. FeatureCAM	3
2.1 O que é o FeatureCAM	3
2.1.1 Tecnologias baseadas em conhecimento	3
2.2 O que são Características de Forma	4
2.2.1 O que é o FeatureRECOGNITION	4
2.2.1.1 Reconhecimento Automático de Características	5
2.2.1.2 Reconhecimento Interativo de Características	5
Automático	5
Superfície	5
Encadeamento	5
2.3 O que é o PowerMILL	6
2.4 FeatureCAM Vs. PowerMILL: Como Escolher?	6
2.4.1 Opções de edição	6
2.4.1.1 PowerMILL	6
Editor de Padrão	6
Editor de Fronteira	6
Editor de Percurso	7
Editor de Curvas	7
Editor de Modelos Maquinados	7
2.4.1.2 FeatureCAM	7
Curvas e Superfícies	7

Editor de Curvas	8
Editor de Superfícies.....	8
Modelação de Sólidos	8
Criação de Geometria.....	8
Modo de Posicionamento do Cursor.....	9
2.4.2 Curva de Aprendizagem	9
2.4.3 Qualidade dos Percursos.....	9
2.4.3.1 Tipo de entradas.....	9
Desbaste	10
Acabamento	10
2.4.4 Zonas de excesso de carga	10
2.4.5 Movimentos aéreos	11
2.4.5.1 Opções de movimentos rápidos.....	11
2.4.5.2 Opções de retração	11
2.4.6 Qualidade do Desbaste e do Acabamento.....	11
2.4.7 Modelos Testados	12
2.4.7.1 Tempo de Programação e Tempo de Maquinagem.....	12
2.4.7.2 Modelo de Ensaio 1: PowerDrill	12
FeatureCAM.....	13
PowerMILL.....	13
Considerações	13
2.4.7.3 Modelo de Ensaio 2: Cone com Bolsas.....	14
FeatureCAM.....	14
PowerMILL.....	14
Considerações	14
2.4.7.4 Modelo de Ensaio 3: Handle.....	14
FeatureCAM.....	15
PowerMILL.....	15
Considerações	15
2.4.7.5 Modelo de Ensaio 4: BurnTool	15
FeatureCAM.....	15
PowerMILL.....	15
Considerações	16
2.4.7.6 Modelo de Ensaio 5: Peça_1	16

FeatureCAM.....	16
PowerMILL.....	16
Considerações	16
2.4.7.7 Modelo de Ensaio 6: Peça_2	16
FeatureCAM.....	16
PowerMILL.....	17
Considerações	17
2.4.7.8 Modelo de Ensaio 7: Cinzeiro	17
FeatureCAM.....	17
PowerMILL.....	18
Considerações	18
2.4.7.9 Modelo de Ensaio 8: Caixa_Furos	18
FeatureCAM.....	18
PowerMILL.....	19
Considerações	19
2.4.8 Vantagens e Desvantagens	19
2.4.8.1 PowerMILL.....	19
2.4.8.2 FeatureCAM.....	20
2.4.9 Análise de Resultados	21
3 Caso Estudo: ETMA	25
3.1 A Empresa.....	25
3.2 O que é o Pós-Processamento	26
3.3 O que é o XBUILD	26
3.4 Situação	26
3.5 Resolução	27
4 Formação Avançada de FeatureCAM.....	28
4.1 Modelos de Resto	28
4.2 Macros	29
4.2.1 Ambiente Integrado de Desenvolvimento	30
4.2.2 Linguagem WinWRAP Basic.....	30
4.2.3 O que são Macros	30
4.3 FeatureTURN e FeatureTURN/MIL	32

4.3.1	Princípios básicos de maquinagem por torno / torno de fresa.....	32
4.3.1.1	Componentes Principais.....	32
	Carro.....	32
	Bucha.....	32
	Grampos.....	32
	Torreta.....	32
4.3.1.2	Cinemática e Movimento.....	32
	Movimento Principal ou de Corte.....	32
	Movimento de Penetramento.....	33
	Movimento de avanço.....	33
	Cinemática.....	33
4.3.1.3	Operações realizáveis.....	34
	Facejar.....	34
	Torneamento Exterior.....	34
	Torneamento Interior.....	34
	Roscagem.....	34
	Roscagem a Buril.....	35
	Roscagem a Macho.....	35
	Sangrar.....	35
	Ranhurar.....	35
	Furação.....	35
	Mandrilagem.....	36
	Recartilhagem.....	36
4.3.2	Funções Avançadas FeatureTURN.....	36
4.3.2.1	Sincronização.....	36
4.3.2.2	Torneamento em paralelo.....	36
4.3.2.3	Follow Turning.....	36
4.3.2.4	Mapeamento de Ferramentas.....	37
4.3.2.5	Enrolamento de características 2.5D.....	37
4.4	Maquinagem 5 - eixos.....	37
4.4.1	Maquinagem a 3 + 2 eixos.....	37
4.4.2	5 Eixos Contínuos.....	37
4.4.2.1	Estratégias de “Lead/Lean”.....	37
	Ferramenta Fixa.....	38

To Point/Line/Curve	38
To Point	38
To Line	38
To Curve.....	38
From Point/Line/Curve.....	38
From Point.....	38
From Line.....	39
From Curve	39
4.4.2.2 Maquinagem <i>Swarf</i>	39
4.4.2.3 Enrolamento de características 2.5D	39
5 Implementação de um Torno/Fresa no Grupo VANGEST	40
5.1 A empresa.....	40
Distrib2 – Grupo VANGEST.....	40
5.2 Enquadramento	40
5.3 Preparação.....	40
5.3.1 A máquina, o controlador e o pós-processador	41
5.3.1.1 Tipo de Trabalho.....	41
5.4 Execução	41
5.4.1 Programação da peça em FeatureCAM	44
5.5 Adversidades Encontradas	45
5.5.1 Ficheiro Tridimensional da Máquina	45
5.5.1.1 Afinação do ficheiro “ <i>Machine Design</i> ”	46
5.5.2 Pós-Processador.....	47
5.5.2.1 Afinação do Pós-Processador.....	48
5.5.2.2 Conteúdos Vazios	49
5.5.2.3 Contacto com a DELCAM.....	50
5.6 Considerações Finais	50
6 Conclusão.....	50
7 Bibliografia	52
8 Anexo 1	53

Índice de figuras

Figura 2—1 – Exemplos do tipo de características existentes na peça representada. _____	4
Figura 2—3: Gráfico representativo dos tempos do operador necessários na programação de cada modelo. _	22
Figura 2—2: Gráfico representativo do tempo de maquinagem necessário, estimado pela simulação de cada aplicação CAM. _____	23
Figura 2—4: Fluxogramas representativos da situação na empresa. _____	27
Figura 2—5: Caixas de texto elaboradas na macro da formação avançada de FeatureCAM. _____	30
Figura 2—6: Exemplo da execução da macro. Em cima: elaboração dos círculos e indicação da profundidade. Em baixo: Características programadas após indicação da profundidade. _____	31
Figura 2—7: Esquema representativo da cinemático dos tornos/fresa. À esquerda: cinemática ortogonal. À direita: Cinemática tangencial. _____	33
Figura 2—8: Fachada da empresa Distrim 2. _____	40
Figura 2—9: Desenho técnico da peça. _____	42
Figura 2—10: Esquerda: Desenho da curva composta. Direita: obtenção de um sólido a partir da curva composta desenhada. _____	43
Figura 2—11: Modelo da peça: antes e depois das operações booleanas (cima e baixo, respetivamente). ____	43
Figura 2—13: Hierarquia de relações Mestre/Escravo. _____	46
Figura 2—13: Carro (esq.); Bucha secundária (centro); Grampos (dir.) _____	46
Figura 2—15: Torreta com ponto de âncora de ferramenta descentrado. _____	47
Figura 2—15: Simulação de Máquina. _____	47
Figura 2—16: Código do "Início do Programa", aberto na aplicação XBUILD. A vermelho, a categoria que necessita de alteração. _____	48
Figura 2—17: Conteúdo inicial da categoria "STOCKDIMS". _____	48
Figura 2—18: Conteúdo correto, na categoria "STOCKDIMS". _____	49
Figura A - 1: Passo lateral em arco, no centro da figura. _____	53
Figura A - 2: Passo lateral direto/linear, a cor de laranja. _____	53
Figura A - 3: Entradas/Saídas em Mergulho. _____	53
Figura A - 4: Entradas/Saídas em Rampa Helicoidal. _____	53
Figura A - 5: Entradas/Saídas em Rampa Linear. _____	53
Figura A - 6: Passo Lateral Linear. _____	54
Figura A - 7: Entradas/Saídas em Escadaria. _____	54
Figura A - 8: Entradas/Saídas em Loop. _____	55
Figura A - 9: Entradas/Saídas em todos os mergulhos/retrações. Em cima, Linear. Em baixo, em Arco. _____	55
Figura A - 10: Entradas/Saídas em todos os passos laterais, mergulhos e retrações. Em arco. _____	56
Figura A - 11: Menus PowerMILL. Tipo de Entradas e Saídas (esq.) e Tipo de ligações e movimentos rápidos (dir.) _____	56

<i>Figura A - 12: Cima (esq.) - Gráfico de esforço da ferramenta; Cima (dir.) - configuração da janela de medição de esforço; Baixo - Indicação do tipo de material no menu da ferramenta.</i>	57
<i>Figura A - 13: Esquemas representativos do plano Z de segurança, e conceitos de retração: Distância de segurança (esq.) e Distância Relativa (dir.).</i>	58
<i>Figura A - 14: Menus de configuração das distâncias dos movimentos rápidos.</i>	58
<i>Figura A - 15: Retração para o plano Z de segurança (esq.) ; Retração relativa (centro) ; Retração para a distância de mergulho (dir.)</i>	59
<i>Figura A - 16: Vistas do modelo PowerDrill. Topo, Laterais, Isométrica.</i>	49
<i>Figura A - 17: Simulação de máquina (esq.) e resultado final, com cores de ferramenta (dir.)</i>	50
<i>Figura A - 18: Resultados da simulação da maquinagem do modelo em PowerMILL.</i>	51
<i>Figura A - 19: Resultado da simulação de maquinagem do modelo em FeatureCAM (esq.) e simulação de máquina (dir.)</i>	52
<i>Figura A - 20: Resultado da Simulação do Modelo em PowerMILL.</i>	53
<i>Figura A - 21: Resultado da Simulação do modelo em FeatureCAM.</i>	54
<i>Figura A - 22: Resultado da Simulação de Maquinagem do Modelo em PowerMILL. Erro gráfico de ViewMILL (esq. superior).</i>	55
<i>Figura A - 23: Erros de Leitura da superfície do modelo BurnTool.</i>	56
<i>Figura A - 24: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em FeatureCAM.</i>	57
<i>Figura A - 25: Resultado da Simulação de Maquinagem do Modelo em PowerMILL.</i>	58
<i>Figura A - 26: Resultado da Simulação de Maquinagem do Modelo em FeatureCAM.</i>	59
<i>Figura A - 27: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em PowerMILL.</i>	60
<i>Figura A - 28: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em FeatureCAM. Imperfeições da maquinagem das letras, em cima (dir.).</i>	61
<i>Figura A - 29: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em PowerMILL.</i>	62
<i>Figura A - 30: à esquerda: Programação efetuada pelo FeatureRECOGNITION. À direita: Resultado da Simulação da Maquinagem em FeatureCAM. Em baixo: Função PartCompare de cor verde, indicando coincidência com o modelo original.</i>	63
<i>Figura A - 31: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em PowerMILL.</i>	64
<i>Figura A - 32: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em FeatureCAM. Em baixo, função PartCompare de cor indicando coerência com o modelo original.</i>	65
<i>Figura A - 33: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em PowerMILL.</i>	66
<i>Figura A - 34: Cima, da esquerda para a direita: Perfil; Furação 8.5mm; Fresamento de caixas. Baixo, da esquerda para a direita: Sangramento; Roscagem interior.</i>	67
<i>Figura A - 35: Cima, da esquerda para a direita: Perfil; Roscagem exterior(dois exemplos). Baixo: Furação 4.5mm.</i>	68
<i>Figura A - 36: Resultado da Simulação de Maquinagem primária da peça.</i>	69

Índice de tabelas

<i>Tabela 1 - Tabela expositiva dos parâmetros testados na comparação das aplicações CAM.</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 2- Tabela expositiva das operações de maquinagem da peça na Distrim 2, a cargo do operador destacado.</i>	<i>44</i>

Objetivo

O estágio foi realizado no âmbito da dissertação do mestrado, e decorreu em ambiente empresarial, concretamente na NORCAM. Consistiu na realização de tarefas propostas pela empresa que requereram tirar partido tanto das competências até então adquiridas na área de CAD/CAM, como das que foram desenvolvidas ao longo sua duração - contribuindo assim para a familiarização com o ambiente empresarial.

Anteriormente ao estágio foi realizado um trabalho de seminário, no qual foram abordados com mais profundidade, em relação aos conteúdos até então assimilados durante o curso, as aplicações CAD/CAM, respetivamente PowerSHAPE e PowerMILL. O objetivo desse trabalho foi a preparação para o estágio através da aprendizagem das referidas aplicações CAD/CAM, uma programação de um modelo que necessitou das competências então trabalhadas, assim como realizar uma síntese bibliográfica de assuntos relacionados.

Por sua vez, o estágio teve como objetivo a integração na equipe de suporte técnico da Norcam, com foco especial na gama de produtos FeatureCAM, para a qual existiam recursos deficientes na empresa.

1 Introdução

1.1 A empresa

A Norcam - Engenharia e Design Industrial, criada em 1991, é uma empresa que se dedica à comercialização, implementação e desenvolvimento de soluções industriais CAD/CAM/CAE, prototipagem rápida, digitalizadores tridimensionais e outros meios tecnológicos avançados.

Para responder às necessidades dos seus clientes, a Norcam conta com um conjunto de especialistas nas áreas de *design industrial*, CAD/CAM/CAE e CNC.

A Norcam dispõe de um vasto leque de produtos entre os quais:

- Delcam - soluções CAD/CAM e metrologia;
- 3D Systems - impressoras 3D;
- Creaform - *scanners* 3D portáteis;
- Finite solutions - simulação de fundição;
- Metronor - equipamentos de medição portátil para grandes volumes;
- Revware - braços MicroScribe para digitalização;

Para assegurar a satisfação dos seus clientes, é primordial assegurar uma assistência técnica de elevada qualidade, que engloba a formação, implementação e o suporte técnico.

1.2 Enquadramento

A Norcam dispõe de 6 engenheiros no departamento técnico, que juntos cobrem o conhecimento de toda a gama de produtos, com exceção do FeatureCAM. O FeatureCAM é composto por vários módulos e foi introduzido na rede de distribuição da Delcam há relativamente pouco tempo, pelo que ainda não existe muito conhecimento técnico na Norcam.

Neste âmbito foi proposto a dedicação do estagiário a este produto, com vista a poder fazer o suporte pré- e pós-venda dos diferentes módulos de FeatureCAM. Isto implicou não apenas uma formação profunda do FeatureCAM, mas também a exploração das suas funcionalidades. Concretamente existiu na Norcam a necessidade de posicionar no mercado o FeatureCAM, na vertente de fresamento, comparativamente com o PowerMILL.

2 Estudo Comparativo PowerMILL Vs. FeatureCAM

Durante o estágio, a Norcam propôs um estudo comparativo entre as duas aplicações CAM que tem ao dispor - PowerMILL e FeatureCAM - de forma a tornar evidente o tipo de trabalho ao qual cada uma está melhor adaptada, e, deste modo, melhorar a capacidade de resposta aos seus clientes na área da maquinaria de componentes.

O estudo que se segue é fruto dessa proposta.

2.1 O que é o FeatureCAM

O FeatureCAM é uma aplicação CAM (*Computer Aided Manufacturing*), da DELCAM, de fácil utilização para fresadoras e centros de maquinaria, assim como para máquinas de electroerosão por fio. Os seus principais focos são a utilização de tecnologias baseadas em conhecimento, o feedback gráfico, o reconhecimento automático de características de forma, a seleção automática de ferramenta, as bases de dados padrão, e a personalização de pós-processadores, que, conjuntamente, contribuem para uma interface amigável para o utilizador (1).

2.1.1 Tecnologias baseadas em conhecimento

Algumas estratégias de aplicações CAM para a criação de percursos de maquinaria utilizam Tecnologia Baseada em Conhecimento (TBC), que se traduz na integração direta das informações de maquinaria na própria aplicação.

As aplicações CAM baseadas em operações oferecem pouca ou nenhuma TBC - exigem que o utilizador siga vários passos para que consiga maquinar uma determinada peça. Esses passos incluem selecionar o tipo de operação a utilizar, selecionar/criar as respetivas fronteiras de maquinaria (se necessárias), o tipo de percurso, selecionar manualmente ferramentas e parâmetros de corte: avanços, velocidades, passo lateral e passo vertical. Nestes casos, todos os passos mencionados devem ser repetidos para cada operação da peça.

No caso do FeatureCAM, está-se perante uma aplicação CAM baseada em características de forma, pelo que tira partido de um conjunto de características maquináveis inter-relacionadas de forma a descrever uma peça inteira. São aplicadas regras e preferências de maquinaria pré-definidas pelo utilizador - com recurso à TBC - visando tornar todo o processo mais eficiente e automatizado. Essas regras e preferências incluem: como e onde deve ocorrer a remoção de material, profundidade de corte, uso de corte concordante, operações de pontear ou centrar, e estratégias preferidas de maquinaria para desbaste e

acabamento. Escolhendo um tipo de material previamente definido e parametrizado pelo utilizador, a aplicação CAM seleciona as ferramentas mais apropriadas, calcula avanços e velocidades e gera automaticamente o código NC (1).

2.2 O que são Características de Forma

No mundo CAM, entende-se por característica de forma (*Feature*, do anglo-saxónico) como sendo uma entidade inteligente a partir do qual um utilizador se serviria para criar no material a ser maquinado uma determinada forma, como por exemplo, uma Face, uma Lateral, uma Cavidade, um Furo, um Chanfro, ou um Postiço. Na figura 2-1, encontram-se destacadas, a título de exemplo, algumas características da peça ilustrada. Entendem-se características como entidades inteligentes uma vez que não só descrevem uma forma, mas também são constituídas por uma ou mais operações associativas que descrevem o método preferido de corte dessa forma na máquina onde será maquinada a peça pretendida (1).

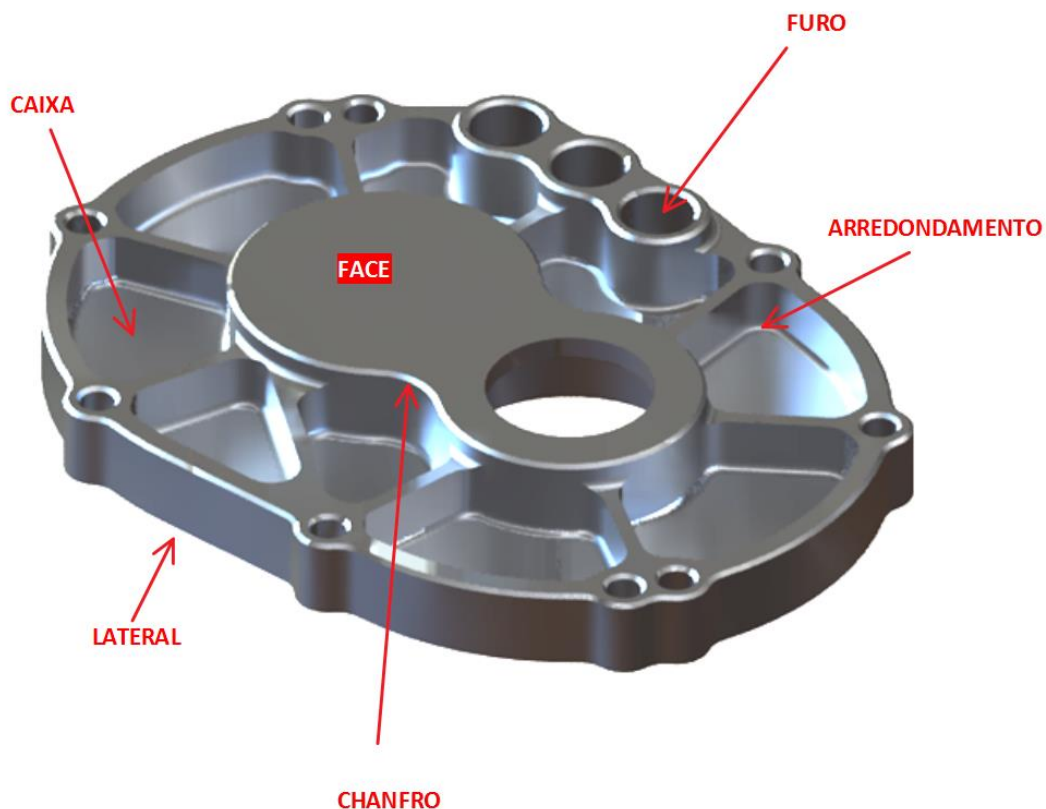


Figura 2—1 - Exemplos do tipo de características existentes na peça representada. (1)

2.2.1 O que é o FeatureRECOGNITION

O FeatureCAM possui uma função de reconhecimento automático de Características de um modelo sólido, denominado por FeatureRECOGNITION. Esta função analisa e extrai as

geometrias, curvas e dimensões respetivas às características do modelo sólido, e reúne-as sob a forma de operações que servirão para maquinar o modelo pretendido (2).

O FeatureRECOGNITION tem duas formas distintas de operar: ou através do reconhecimento automático de características (RAF), ou através do reconhecimento interativo de características (RIF), que serão em seguida abordadas.

2.2.1.1 Reconhecimento Automático de Características

O Reconhecimento Automático de Características (RAF) pode ser usado imediatamente após a importação do modelo sólido e definição do respetivo bloco e plano de trabalho. Esta forma de reconhecimento de características examina o modelo e procura por planos na peça, e, seguidamente, cria características dividindo o modelo em camadas horizontais nesses planos e determina automaticamente o lado correto da peça, isto é, de que lado a ferramenta deve estabelecer contacto. O RAF permite uma programação extremamente rápida de uma determinada peça, já que o utilizador intervém com o mínimo de informação, o que, em contrapartida, pode resultar no percurso de maquinagem criado não ser o mais eficiente, ou estar totalmente de acordo com as expectativas do utilizador (2).

2.2.1.2 Reconhecimento Interativo de Características

O Reconhecimento Interativo de Características (RIF) possui três tipos de estratégias disponíveis, sendo estes o reconhecimento por tipo de característica, o reconhecimento através de superfícies, e o reconhecimento por encadeamento. Fica ao critério do utilizador qual o tipo de estratégia mais vantajosa, mediante a natureza da característica a extrair do modelo (2).

Automático

Esta forma de reconhecimento procura no modelo sólido um tipo de característica especificada pelo utilizador.

Superfície

Com o reconhecimento de superfícies ou faces, é possível extrair informações como a profundidade e contornos das superfícies selecionadas.

Encadeamento

Com base no reconhecimento por encadeamento, é possível obter características através do perfil de uma camada horizontal definida pelo utilizador no modelo.

2.3 O que é o PowerMILL

O PowerMILL é uma aplicação CAM tridimensional que permite a programação de percursos de maquinação através da simulação das diversas operações de maquinação a serem realizadas, com a possibilidade de definir o tipo de ferramentas e a estratégias que serão utilizadas no centro de maquinação. O facto desta aplicação CAM possuir módulos que oferecem forte compatibilidade com centros de maquinação com 5 eixos, distingue-o no respetivo mercado (3).

2.4 FeatureCAM Vs. PowerMILL: Como Escolher?

A Norcam propôs um estudo comparativo entre duas aplicações CAM, PowerMILL e FeatureCAM, do ponto de vista de um utilizador recentemente iniciado nessas mesmas aplicações, de forma a garantir a máxima imparcialidade. Desta forma, fatores como a curva de aprendizagem e facilidade de interação podem ser incluídos na análise. O FeatureCAM contém também módulos para torneamento e erosão por fio. Porém foi só analisado o módulo para fresagem 3 e 5 eixos, para ser equiparável ao PowerMILL.

Todas as figuras referentes a esta secção estão incluídas em anexo.

2.4.1 Opções de edição

2.4.1.1 PowerMILL

O PowerMILL dispõe de diversas opções de edição dos elementos que podem constituir um projeto (3) (4):

Editor de Padrão

A edição de padrões disponibiliza a inserção de segmentos de curva, curvas compostas, fronteiras ou percursos na criação de um novo padrão ou um já existente; a geração de um padrão entre duas curvas existentes (sentidos transversal ou longitudinal quer uni ou bidirecionais, com padrão trocoidal, ou padrão offset); assim como opções de transformação (translação, rotação, espelhar, escalar, *offset*, criação de padrões) e iniciar o editor de curvas.

Editor de Fronteira

A edição de fronteiras permite a criação de diferentes tipos de fronteiras (p.ex. bloco, superfícies selecionadas, rasa, silhueta, ou definida pelo utilizador); a aquisição de elementos para a fronteira ativa (um padrão, outra fronteira, um percurso, ou um modelo);

transformação de fronteiras (translação, rotação, espelhar, escalar, *offset*, criação de padrões); e iniciar o editor de curvas.

Editor de Percurso

A barra de ferramentas de edição de percurso exhibe uma série de ferramentas como transformação (translação, rotação, espelhar, criação de padrão); limitação do percurso (por um plano, um polígono, ou uma fronteira); divisão do percurso (segundo um ângulo, uma direção, por tempo, ou por comprimento); alteração dos pontos iniciais; edição do eixo da ferramenta; re-ordenação do percurso (inversão de direção e/ou ordem das pistas, de forma a reduzir elevações); e opções de visualização.

Editor de Curvas

A interface gráfica do editor de curvas consiste numa barra de ferramentas, com uma diversidade de funções à disposição, como inverter a orientação do segmento; diferentes métodos de limitação de curvas; segmentação de curvas; ajustamento de curvas; diferentes modos de transformação (translação, rotação, espelhar, escalar, *offset*, criação de padrões); projeção de curvas sobre uma superfície para a criação de padrões; modificação da cor dos segmentos; criação de pontos; criação de segmentos de linha; criação de círculos, arcos, e *fillets*; e criação de curvas Bezier.

Editor de Modelos Maquinados

O editor de modelos maquinados permite escolher o estado a ser visualizado do modelo ativo; adicionar bloco, percurso e/ou ferramenta ativa; remover estado atual; e visualizar o modelo maquinado ativo como modelo de arames.

2.4.1.2 FeatureCAM

O FeatureCAM tem um leque de ferramentas de edição e construção que permitem e auxiliam a construção de geometria auxiliar, conforme a necessidade da existência destas num determinado projeto (1) (5).

Curvas e Superfícies

É possível criar curvas através de uma série de métodos diferentes:

Splines e Interpolação - Cria uma curva contínua e suavizada ao longo de um determinado número de pontos; Função - Cria uma figura através de relações matemáticas definidas pelo utilizador; Texto - Cria curvas baseadas em texto a partir de qualquer *font* instalada no Windows; Elipse - Cria uma curva elíptica no plano do sistema de coordenadas atual; Retângulo - Cria uma curva retangular no plano do sistema de coordenadas atual; Engrenagem - cria uma curva bidimensional do perfil de uma engrenagem.

Editor de Curvas

É possível também a criação de curvas a partir de outras curvas:

Juntar curva; inverter o sentido; criar uma curva por offset de outra curva; projetar para o sistema de coordenadas atual; extrair uma curva a partir de uma *font* de um texto existente; suavizar uma curva; criar curvas múltiplas através da junção de mais curvas. A criação de curvas a partir de superfícies também é possível: a partir da fronteira de uma determinada superfície; a partir da interseção de duas superfícies; de uma extremidade trimada; a partir da isolinha de uma superfície; a projeção de uma curva numa superfície; através das extremidades de uma superfície; projetar uma superfície para o sistema de coordenadas atual; e criar uma curva a partir de uma superfície de revolução.

Editor de Superfícies

Assim como a criação de superfícies:

Quer através de superfícies primitivas, quer a partir de curvas, ou a partir de outras superfícies. As ferramentas de criação de superfícies a partir de curvas incluem superfícies de revolução; superfícies de extrusão. Por sua vez, as ferramentas de criação de superfícies a partir de outras superfícies incluem a superfície derivada de uma região de outra superfície; inversão de superfície; a partir de um *offset*; extensão de uma superfície; limitação uma superfície por uma curva ou outra superfície; separação de uma superfície; criação de *fillets* entre superfícies; e modificação de superfície.

Modelação de Sólidos

Ao tirar partido do módulo para modelação de sólidos em FeatureCAM, é possível a criação de sólidos base (paralelepípedos, cones, esferas, cilindros) e executar uma série de operações booleanas de forma a obter novos sólidos. A criação de sólidos pode efetuada a partir de curvas - extrusão, revolução, curvas separadas, ou arraste - ou a partir de superfícies ou outros primitivos - costura de entidades, características 2.5D. É ainda possível editar os sólidos criados de diversas formas, incluindo a criação de *fillets*; atribuição de forma segundo uma curva; ou remoção de uma superfície. Desta forma, é possível efetuar alterações a um modelo de uma determinada peça na própria interface do FeatureCAM, sem recurso a outras aplicações CAD.

Criação de Geometria

A nível de geometria, as ferramentas disponíveis no FeatureCAM consistem na criação de pontos; na criação de linhas (entre dois pontos, linhas conectadas, horizontal ou vertical através de um ponto, através de um ponto segundo um ângulo, ou por *offset*); criação de círculos (definição de centro, raio, diâmetro, tangente, dois ou três pontos); criação de

fillets e chanfres; criação de arcos (2 e 3 pontos, centro, raio, início, fim); inserção de cotas e texto; limitação de geometrias; e encadeamento de curvas.

Modo de Posicionamento do Cursor

O modo de posicionamento pode ser configurado de diferentes maneiras: o cursor pode ser configurado para ser posicionado sobre a grelha do sistema de coordenadas atual; sobre os pontos pertencentes a uma determinada geometria; sobre os pontos finais; sobre os pontos médios; sobre os pontos de secções equidistantes; sobre intersecções; no centro de um arco; num quadrante de um círculo; sobre um objeto; na tangente de um objeto; ou sobre um percurso.

2.4.2 Curva de Aprendizagem

A aprendizagem da aplicação PowerMILL teve uma duração de aproximadamente seis meses, durante o trabalho de seminário. A curva de aprendizagem PowerMILL, ao longo da sua formação, pode-se classificar inicialmente como suave até um nível intermédio. A partir de metade torna-se mais íngreme devido à complexidade crescente de algumas configurações e estratégias existentes.

A aprendizagem da aplicação FeatureCAM teve uma duração de aproximadamente três meses, e a curva de aprendizagem pode-se classificar como intermédia durante toda a formação.

2.4.3 Qualidade dos Percursos

2.4.3.1 Tipo de entradas

Em PowerMILL, o tipo de entradas foi estudado no trabalho de seminário (4), realizado como preparação para encarar o estágio na Norcam. Como tal, não serão abordados com o mesmo detalhe verificado em relação à aplicação FeatureCAM.

Em FeatureCAM, é possível controlar os percursos, tanto em operações de desbaste como de acabamento, quanto ao passo lateral, e ao tipo de entrada e saída, e respetiva frequência de utilização. É ainda possível parametrizar cada uma destas opções quanto aos ângulos máximo e mínimo, comprimento - no caso de movimentos lineares - e diâmetro - no caso de arcos. (1)

De forma a não exceder o limite de páginas permitido ao corpo do relatório, encontram-se, em anexo, as figuras A-1 a A-11, que representam os seguintes tipos de entradas e saídas.

Desbaste

Passo lateral:

- Direto
- Arco

Entradas/Saídas:

- Mergulho
- Rampa
 - Linear
 - Helicoidal

Acabamento

Passo lateral:

- Direto
- Escadaria
- *Loop*

Entradas/Saídas:

- Frequência
 - Em todos os mergulhos/retrações
 - No primeiro mergulho e na última retração
 - Em todos os passos laterais, mergulhos e retrações
- Tipos de entradas/saídas
 - Rampa em arco
 - Linear

Em PowerMILL, apesar de oferecer mais personalização, o tipo de entradas/saídas e ligações não difere significativamente das opções disponíveis em FeatureCAM. A figura A-11, também em anexo, mostra as opções selecionáveis nos menus do PowerMILL. Uma vez mais, recomenda-se a consulta do trabalho de seminário realizado anteriormente, uma vez que incide com bastante mais profundidade em PowerMILL (4).

2.4.4 Zonas de excesso de carga

Em PowerMILL, não é possível estimar a carga exercida na ferramenta em determinada altura. O mesmo não sucede em FeatureCAM - a aplicação possui um simulador de carga da ferramenta, que usufrui da Tecnologia Baseada em Conhecimento: depende dos parâmetros do material da peça que está a ser maquinada, assim como do tipo de ferramenta e respetivo material, em conjugação com os parâmetros de corte - velocidades de avanço e alimentação. Este simulador consiste numa janela que apresenta um gráfico tempo/potência, e cujas configurações incluem mostrar um aviso e/ou interromper a simulação quando for excedido o limite de potência indicado pelo utilizador, conforme observável na figura A-12, em anexo.

2.4.5 Movimentos aéreos

Em FeatureCAM os movimentos aéreos e alturas de segurança são controláveis, quer de um modo geral nos atributos de maquinagem, quer individualmente em cada operação, conforme representado nas figuras A-13, A-14, e A-15, respetivamente, em anexo.

2.4.5.1 Opções de movimentos rápidos

- Plano Z de segurança: a mínima distância de segurança, em Z, a partir da qual podem ser executados movimentos rápidos
- Distância Z Rampa: a distância, em Z, a partir da qual são iniciados os movimentos de rampa durante um mergulho.
- Distância Mergulho: A distância acima da característica a partir da qual a ferramenta começa o mergulho.

2.4.5.2 Opções de retração

- Retração para o plano Z de segurança: sempre que a ferramenta retrai, será sempre para a distância definida para o plano Z de segurança
- Retração relativa: sempre que a ferramenta retrai, será sempre o mínimo em relação à superfície atual para que consiga executar o percurso seguinte, acrescido do valor de tolerância especificado
- Retração para a distância de mergulho: a retração da ferramenta após corte será para a distância de mergulho - ou seja, uma distância inferior à do plano Z de segurança.

De um modo geral, a personalização destes parâmetros é a mesma em ambas as aplicações - alguns parâmetros exibem nomes diferentes e desempenham as mesmas funções - pelo que este fator não é decisivo na escolha da aplicação a empregar num determinado trabalho.

2.4.6 Qualidade do Desbaste e do Acabamento

O mesmo modelo, programado com as mesmas estratégias, ferramentas e parâmetros de corte, pode exibir aparências diferentes numa e noutra aplicação CAM. Tomando o exemplo do PowerMILL, a simulação da peça acabada é desenhada através do ViewMILL que tem diversos níveis de visualização - inclusive *renderização* de superfícies refletoras, para máxima qualidade gráfica. Já em FeatureCAM, a simulação não requer um poder gráfico tão exigente como em PowerMILL, pelo que a janela de simulação é dinâmica - permitindo assim movimentação e rotação da peça, enquanto decorre a própria simulação - e a qualidade gráfica não sugere o mesmo grau de “realidade” que se verifica na aplicação anterior.

Por estas razões, a qualidade final das operações é, em última análise, algo que só consegue ser comparável empiricamente - requer a avaliação física de uma peça maquinada.

2.4.7 Modelos Testados

Foram testados oito modelos em ambas as aplicações CAM. De forma a promover a fiabilidade da comparação foram utilizados, a não ser quando especificado, os mesmos conjuntos de ferramentas, assim como as mesmas velocidades de corte, mergulho, e rotação.

2.4.7.1 Tempo de Programação e Tempo de Maquinagem

Todos os modelos foram programados com parâmetros de corte idênticos - velocidades de avanço, diâmetros e comprimentos de ferramenta - e no mesmo computador, de forma a possibilitar uma comparação entre aplicações equilibrada. Na tabela 1, encontra-se exposta a relação entre modelo, aplicação CAM, e respetivos tempos de programação e simulação.

Tabela 1 - Tabela expositiva dos parâmetros testados na comparação das aplicações CAM.

Modelo	FeatureCAM		PowerMILL	
	Programação	Simulação (estimado)	Programação	Simulação (estimado)
PowerDrill	50min	14h07min	40min	13h45min
Cone c/bolsas	35min	8h52min	21min	9h48min
Handle.dgk	20min	1h49min	20min	3h17min
BurnTool	30min	6h31min	21min	7h45min
Peça_1	53min	6h26min	1h20min	7h36min
Peça_2	4h00min	10h14min	1h20min	6h49min
Cinzeiro	25min	23min	50min	27min31
Caixa_furos	6min	2h07min	40min	2h09min

2.4.7.2 Modelo de Ensaio 1: PowerDrill

O primeiro modelo testado consistiu numa placa molde denominada “PowerDrill”, conforme representado pela figura A-16, em anexo.

FeatureCAM

O modelo PowerDrill foi importado como modelo sólido para o FeatureCAM. Inicialmente, recorreu-se ao FeatureRECOGNITION para o reconhecimento automático de características. Porém, os resultados não foram satisfatórios devido à incapacidade de reconhecer corretamente a forma das características a maquinar, e, também, à inadequada sugestão de ferramentas para esse efeito.

Mediante essa situação, foi efetuada a programação manual do modelo, com recurso a 11 estratégias no total, que permitiram um resultado satisfatório na simulação. No entanto, verificaram-se alguns contratempos que requereram bastantes ajustes em determinadas estratégias. Entre os contratempos destacam-se a existência de invasões não detetadas pela simulação, assim como zonas acabadas retrabalhadas por acabamentos de outras zonas, destruindo assim as primeiras. Ambos estes problemas foram corrigidos com a marcação de superfícies de verificação nas opções das estratégias problemáticas. Contudo, mostrou-se uma tarefa extremamente consumidora de tempo, na medida em que a construção do próprio modelo, por ser em superfícies, (e algumas apresentarem má qualidade), continha superfícies críticas para verificação gravemente segmentadas. A figura A-17, em anexo, demonstra o resultado obtido.

PowerMILL

A programação do percurso de maquinagem em PowerMILL consistiu em 11 estratégias, de forma a obter um resultado satisfatório na simulação da maquinagem. De um modo geral, não se verificaram contratempos na programação do percurso. A aplicação leu o modelo com mais êxito do que a anterior, e não se verificaram adversidades no cálculo das estratégias necessárias. A figura A-18, em anexo, demonstra o resultado obtido.

Considerações

O tempo de operador em PowerMILL mostrou-se menos demorado que em FeatureCAM. No entanto verificaram-se algumas particularidades que devem ser mencionadas: em PowerMILL foi necessária a programação de fronteiras para limitar cada estratégia de acabamento, o que, naturalmente consome algum tempo, ao passo que em FeatureCAM, o cálculo de fronteiras é automático, bastando selecionar as zonas pretendidas para a estratégia; em FeatureCAM foi necessário realizar diversos ajustes em determinadas estratégias problemáticas, o que consome algum tempo também, situação que não se verifica em PowerMILL.

2.4.7.3 Modelo de Ensaio 2: Cone com Bolsas

O segundo modelo testado em ambas as aplicações foi modelado em sólidos, com recurso a operações booleanas, em PowerSHAPE, uma aplicação CAD híbrida da Delcam. Foi realizado com o objetivo de servir de modelo teste ao desempenho da programação de percursos de maquinaria a 5 eixos posicionais, também denominado por maquinaria 3 + 2, em ambas as aplicações CAM.

FeatureCAM

A programação do *Cone com Bolsa* em FeatureCAM consistiu na elaboração de 7 estratégias para obter um resultado satisfatório na simulação da maquinaria. A utilização do FeatureRECOGNITION não se mostrou vantajosa neste caso, uma vez que o reconhecimento das bolsas não foi executado com sucesso, resultando em invasões severas no modelo, optando-se então por uma maquinaria manual das entidades pretendidas. Essa maquinaria mostrou-se bastante simples de programar, porém houve adversidades que, ainda que ultrapassáveis, constituíram uma quebra na produtividade: os modos de posicionamento do cursor mostraram-se ineficazes no reconhecimento da superfície de cada bolsa, o que dificultou o posicionamento de cada *setup* para a maquinaria das mesmas. A figura A-19, em anexo, demonstra o resultado obtido.

PowerMILL

A programação do Cone com Bolsas em PowerMILL foi elaborada com recurso a 7 estratégias, de forma que a simulação apresentasse um resultado satisfatório. Não foram verificadas adversidades na programação das estratégias de maquinaria. Contudo, foi mais uma vez necessária a elaboração de fronteiras, neste caso em torno das bolsas. O resultado obtido está representado pela figura A-20, em anexo.

Considerações

O tempo de operador em PowerMILL verificou-se inferior ao do necessário para maquinar o modelo satisfatoriamente em FeatureCAM. Isto deveu-se, essencialmente, ao modo de orientação dos eixos posicionais, sendo que em FeatureCAM as etapas necessárias para criar um *setup* a partir do qual seriam calculadas as estratégias orientadas nesse eixo são mais demoradas do que em PowerMILL, no qual o alinhamento dos eixos posicionais é efetuado através da colocação de planos de trabalho, de forma extremamente simples e expedita. A elaboração de fronteiras não constituiu, neste caso, um consumo de tempo significativo.

2.4.7.4 Modelo de Ensaio 3: Handle

O terceiro modelo testado consistiu numa pega dentada, com uma geometria bastante simples, apresentando uma ligeira contra-saída nas extremidades.

FeatureCAM

A programação do modelo através do FeatureCAM não apresentou dificuldades. O FeatureRECOGNITION não agilizou o processo, pelo que se optou pela programação manual com 6 estratégias. O resultado obtido está demonstrado na figura A-21, em anexo.

PowerMILL

O modelo não constituiu nenhuma adversidade durante a programação, apesar da necessidade de criação de fronteiras para isolar algumas estratégias. Na figura A-22, é possível observar o resultado obtido.

Considerações

A programação da maquinagem deste modelo é obtida em ambas as aplicações sem obstáculos significativos. Por outro lado, a simulação de maquinagem em PowerMILL estima uma duração significativamente superior à realizada em FeatureCAM. Isto pode dever-se a diferenças entre as aplicações no cálculo dos percursos de maquinagem.

2.4.7.5 Modelo de Ensaio 4: BurnTool

O quarto modelo a ser testado, denominado “BurnTool”, trata-se de uma placa molde, à semelhança do primeiro modelo testado, no entanto com um desenho diferente.

FeatureCAM

A programação da maquinagem do modelo BurnTool requereu 11 estratégias de forma que a simulação apresentasse um resultado satisfatório. O modelo foi importado sob a forma de superfície, e depois como sólido na tentativa de resolver um erro de leitura das superfícies, conforme apresentado na figura A-23 e também para ser possível utilizar o reconhecimento automático de características. Porém, o erro manteve-se em ambas as situações.

A programação das 11 estratégias diz respeito à programação manual, que foi o método escolhido uma vez que permitiu ultrapassar o erro de leitura da superfície no postigo. O resultado está em anexo, na figura A-24.

Foi também utilizado o FeatureRECOGNITION, que permitiu obter uma programação satisfatória de algumas zonas do modelo, nomeadamente um facejamento, o desbaste e a cavidade com o RAF, e o RIF para a superfície em torno da bolsa, e para a superfície em torno do postigo. As restantes superfícies não apresentaram reconhecimento satisfatório.

PowerMILL

Em PowerMILL, a programação foi efetuada com recurso a 11 estratégias. Não foram verificadas adversidades durante todo o processo. O resultado está demonstrado na figura A-25, em anexo.

Considerações

O tempo de operador em PowerMILL mostrou-se ser inferior ao necessário em FeatureCAM, apesar da necessidade de definição de fronteiras nas diferentes estratégias. Este facto advém essencialmente da leitura do modelo ser incorreta em FeatureCAM, havendo necessidade de realizar ajustes nas operações respeitantes às zonas afetadas, e também por existirem superfícies bastante segmentadas na cavidade, o que torna a sua seleção um processo mais demorado. Por outro lado, verificou-se que a utilização do FeatureRECOGNITION permitiu ultrapassar com eficácia a segmentação das superfícies existentes na cavidade.

2.4.7.6 Modelo de Ensaio 5: Peça_1

O quinto modelo, peça_1, apresenta uma combinação de geometrias simples, e mais complexas, pelo que se torna um modelo de teste interessante.

FeatureCAM

A programação da maquinagem do modelo Peça_1 em FeatureCAM foi realizada com recurso a 5 estratégias. O FeatureRECOGNITION pode ser aplicado no reconhecimento das características de Lateral nos cantos do modelo. Porém, no centro, não se revela uma boa solução. O resultado encontra-se ilustrado na figura A-26, em anexo.

PowerMILL

Em PowerMILL, a programação dos percursos de maquinagem do modelo conseguiu-se através de 5 estratégias. É possível observar o resultado, na figura A-27, em anexo.

Considerações

Tanto numa aplicação como noutra, não se verificaram adversidades durante a programação. Todavia, o tempo de operador necessário em FeatureCAM é inferior ao necessário em PowerMILL, o que advém essencialmente da criação manual de fronteiras usadas para limitar determinadas zonas às respetivas estratégias.

2.4.7.7 Modelo de Ensaio 6: Peça_2

O sexto modelo, Peça_2, é um ideal para testar o desempenho de ambas as aplicações na maquinagem a 5 eixos contínuos. Apresenta uma superfície semicircular, e texto sob a forma de um postigo como característica mais relevante.

FeatureCAM

Tratando-se de uma peça não-prismática, o FeatureRECOGNITION não conseguiu automatizar a programação. Seguiu-se a programação manual, que permitiu detetar uma série de

adversidades: algumas superfícies do modelo exibiam erros de leitura por parte do FeatureCAM; assim como durante a simulação foram detetadas inúmeras invasões que consistem em mergulhos na superfície côncava do modelo, segundo o eixo Z, que não foram eliminadas apesar da alteração da altura Z - segurança. Para obter um resultado minimamente satisfatório, foi necessário reduzir o número de superfícies por operação e, consequentemente, aumentar o número de operações. Algumas superfícies precisaram de reorientação de maquinagem manual para não entrar em conflito com a cinemática da máquina. Todas estas adversidades contribuíram para um aumento significativo do tempo de programação. Todavia, o resultado obtido não pode ser considerado satisfatório, como se evidencia figura A-28, em anexo.

PowerMILL

A programação deste modelo em PowerMILL resume-se à utilização de 5 estratégias, com especial atenção para o acabamento, que requereu uma inclinação do eixo da ferramenta em direção a um determinado ponto no centro do modelo, para que esta estivesse sempre apontada para o modelo.

Considerações

Este modelo foi desenhado para efeito de um *benchmark*, pelo que embora apresente uma forma simples, demonstra uma programação mais complexa. A construção das suas superfícies não é a ideal, pelo que em FeatureCAM isso demonstrou ser uma dificuldade uma vez que determinadas superfícies requereram programação individual já que, quando agrupadas com as restantes não permitiam operações com uma maquinagem coerente e/ou com invasões - e por isso ineficaz. Em PowerMILL, a programação da peça foi bastante mais simples e a fraca construção das superfícies não constituiu qualquer obstáculo na programação. A facilidade de programação desta peça em PowerMILL corrobora que este está indicado para aplicação em peças não prismáticas e com características dignas de mais minuciosidade de programação. O resultado está demonstrado na figura-29, em anexo.

2.4.7.8 Modelo de Ensaio 7: Cinzeiro

O sétimo modelo testado denomina-se cinzeiro, e foi modelado em PowerSHAPE através de operações Booleanas com sólidos, de forma a criar um modelo obtido através de outros sólidos simples.

FeatureCAM

A programação da maquinagem do modelo foi bastante satisfatória em FeatureCAM, e foi conseguida através do FeatureRECOGNITION: as características da peça foram detetadas automaticamente, juntamente com o cálculo das respetivas dimensões, e criaram-se então

todas as estratégias necessárias para maquinar o sólido, de acordo com o conjunto de ferramentas disponível. Tirando partido da função "*Part Compare*", comparou-se o sólido importado, original, com o resultado da simulação, conforme apresentado na figura A-30, em anexo. Como a representação do "*Part Compare*" está totalmente verde, significa que, de acordo com as tolerâncias visuais definidas, o resultado da simulação está coincidente com o sólido importado, isto é, conforme o pretendido.

PowerMILL

A programação da maquinação do modelo em PowerMILL foi conseguida com 6 estratégias de maquinação. Foram necessários realizar alguns ajustes e simulações até obter um resultado satisfatório.

Considerações

Em PowerMILL, a programação do modelo teve de ser sujeita a alguns ajustes de forma que a eficiência do percurso equivalesse ao programado em FeatureCAM, concretamente na etapa do re-desbaste, em que foi necessária a criação de duas fronteiras distintas e respetivos percursos de re-desbaste: um para a parte superior, com apenas duas passagens, e outro para o resto do modelo, com passo vertical ajustado para a estratégia consistir em 4 níveis. Isto permitiu uma redução considerável no tempo de maquinação, mas em contrapartida aumentou significativamente o tempo de operador. Já em FeatureCAM, a programação foi bastante mais rápida devido à utilização da função FeatureRECOGNITION, com a obtenção de resultados satisfatórios. O resultado está ilustrado na figura A-31, em anexo.

2.4.7.9 Modelo de Ensaio 8: Caixa_Furos

O oitavo modelo testado, intitulado Caixa_Furos, foi modelado em PowerSHAPE, através de operações booleanas com sólidos simples, e apresenta características distintas: cavidades, furos, e chanfres.

FeatureCAM

Foi utilizado o FeatureRECOGNITION para o reconhecimento automático das características do modelo, pelo que a programação do modelo foi efetuada com recurso a 39 operações calculadas de forma extremamente rápida e com resultados satisfatórios, conforme se consegue verificar na A-32, em anexo, com a função "*Part Compare*" do FeatureCAM, após uma simulação 3D do processo de maquinação.

PowerMILL

A programação em PowerMILL do modelo Caixa_Furos requereu a identificação dos furos como configuração da figura, e 10 estratégias de forma a conseguir obter um resultado satisfatório na simulação. Não se verificaram constrangimentos durante este processo. O resultado está apresentado na figura A-33, em anexo.

Considerações

O FeatureRECOGNITION conseguiu efetuar o reconhecimento das características do modelo com êxito e, por essa razão, o tempo de operador em FeatureCAM é bastante mais reduzido do que o verificado em PowerMILL. O tempo de operador verificado em PowerMILL advém, em menor peso, da criação de fronteiras e, em maior peso, da necessidade de criação de estratégias de furação para cada diâmetro e para cada chanfre.

2.4.8 Vantagens e Desvantagens

Em seguida estão sucintamente listadas, por aplicação, as respetivas vantagens e desvantagens que incluem áreas que não foram abordadas anteriormente, por motivos de tempo e espaço no que diz respeito ao presente relatório de estágio.

2.4.8.1 PowerMILL

Vantagens:

- Alteração de parâmetros minuciosa bastante vasta com uma interface intuitiva;
- Editor de curvas extremamente versátil e eficaz;
- Estratégias de 5-eixos especializada:
 - *Wireframe Swarf* (4);
 - *Projeção Superfície*;
- Por funcionar por projeções de padrões, modelos de superfícies ou sólidos tornam-se simples de programar, mas podem requerer alguma manipulação de fronteiras;
- Verificação do percurso para invasões e colisões sem ser necessária a simulação das estratégias;
- Posicionamento do cursor simples e eficaz;
- A simulação é instantânea - qualquer edição de pormenores no percurso é efetuada sem o recálculo de toda a simulação.

Desvantagens:

- Curva de aprendizagem íngreme a partir do nível “intermédio”;
- Melhor desempenho possível na presença e auxílio de uma aplicação CAD de superfícies (e.g. PowerSHAPE);

- Estratégias 2.5D de elaboração menos intuitiva e demorada do que em FeatureCAM;
- Programação de peças de geometria simples mais demorada do que em FeatureCAM;
- A simulação é instantânea - significa que alguns pormenores dos percursos podem ser alterados após conversão em código NC pelo pós-processador.

2.4.8.2 FeatureCAM

Vantagens:

- Gera um relatório de tempos (total e por Característica);
- Gera código NC imediatamente;
- FeatureRECOGNITION facilita geometrias muito simples e prismáticas;
- Simulação 3D e de Máquina com “câmara dinâmica” - possibilitando movimentação e por isso visualização tridimensional da maquinagem;
- Função “*Part Compare*” - comparação do modelo pretendido com o estado final da simulação;
- Cálculo automático de fronteiras;
- Possibilidade de usar curvas criadas para servir de fronteiras;
- Simulação “*RapidCut*” a 3 eixos para representação instantânea do estado final da maquinagem;
- A simulação é feita com base no pós-processador: os percursos executados correspondem à realidade.

Desvantagens:

- FeatureRECOGNITION extremamente ineficaz com todos os modelos não demonstrem uma geometria muito simples e prismática;
- Interface desconfortável para alteração minuciosa de parâmetros;
- Algumas sugestões/requisitos de ferramentas para percursos de FeatureRECOGNITION tornam-se obstáculos devido a valores de tolerância indevidos, como valores pré-definidos de origem nas opções;
- Necessidade de indicação de superfícies de verificação de forma a evitar colisões e/ou invasões com a peça;
- Sistema de posicionamento do cursor demasiado complexo - impreciso e ineficaz em algumas situações;
- Modelos com muitas superfícies e que não demonstrem geometrias simples revelam, na maioria das situações, uma programação extremamente demorada;

- Por vezes a simulação 3D é demasiado rápida, mesmo com o parâmetro de velocidade de simulação no mínimo - não existe uma velocidade moderada para observação mais cuidada da simulação;
- Para tirar partido de uma programação fácil e expedita, é necessário ter os módulos complementares necessários para ter todas as opções que tornam o FeatureCAM uma aplicação de interface “amigável” para o utilizador.
- O utilizador é obrigado recalcular toda a simulação sempre que executar alterações, uma vez que esta é executada com base no pós-processador: frustrante na alteração de pormenores em projetos com longas simulações.

2.4.9 Análise de Resultados

Enunciadas as principais funcionalidades de edição, é possível constatar que o PowerMILL aposta numa “especialização” na edição de curvas e percursos, pelo que dispõe de mais opções para esse efeito - corroborado por uma modesta parte das ferramentas de edição disponíveis remeterem para a necessidade de edição de curvas. Empiricamente é sentida maior facilidade na utilização eficaz destas opções, ainda que a maioria das operações relacionadas que requerem este tipo de edição demonstrem mais complexidade do que o normal. A existência de especialização é, muitas vezes, inversamente proporcional à variedade - pelo que se verifica que não existem ferramentas de edição de superfícies ou sólidos, o que significa que caso haja necessidade de utilização de superfícies auxiliares no cálculo de estratégias especializadas, estas deverão ser anteriormente modeladas numa aplicação CAD (e.g. PowerSHAPE, da DELCAM). Isto permite, no entanto, a elaboração de superfícies mais complexas e melhor adaptadas para um determinado modelo igualmente complexo.

Em FeatureCAM isto não se verifica - incluindo a especialização - há, de facto, uma superior variedade no que diz respeito ao tipo de entidades passíveis de edição: além de curvas, estão ao dispor edições de superfícies e, com o módulo correto, sólidos. Porém, empiricamente, é sentida menor facilidade na execução de algumas tarefas, em grande parte devido ao sistema de posicionamento do cursor, que, por deter necessariamente uma vasta quantidade de “modos” torna-se confuso e, em alguns casos, ineficaz - sendo necessário procurar outra solução. Abordando o tópico “não-especialização”, por estar incluída a capacidade de edição de diversas entidades diferentes, as ferramentas de edição são, naturalmente, menos complexas e, por isso, inclina automaticamente o FeatureCAM para modelos igualmente menos complexos com desenho e características mais facilmente atingíveis do que no caso anterior.

Adicionalmente, uma análise gráfica dos resultados dos modelos testados permite corroborar o tipo de trabalho mais adequado a cada aplicação. Nas figuras 2-3, e 2-4, encontram-se, respetivamente, os gráficos dos tempos de programação/operador e dos tempos de simulação. Em cada um está indicado, em percentagem, o tempo adicional que a aplicação mais demorada necessitou para a mesma tarefa ser concluída.

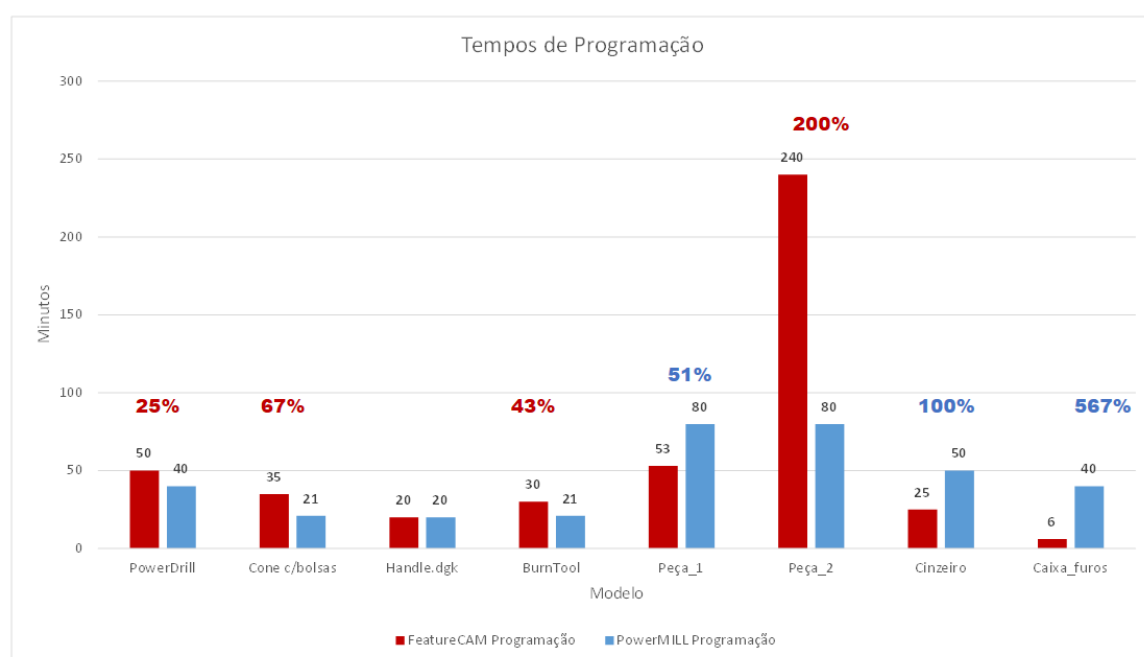


Figura 2–2: Gráfico representativo dos tempos do operador necessários na programação de cada modelo.

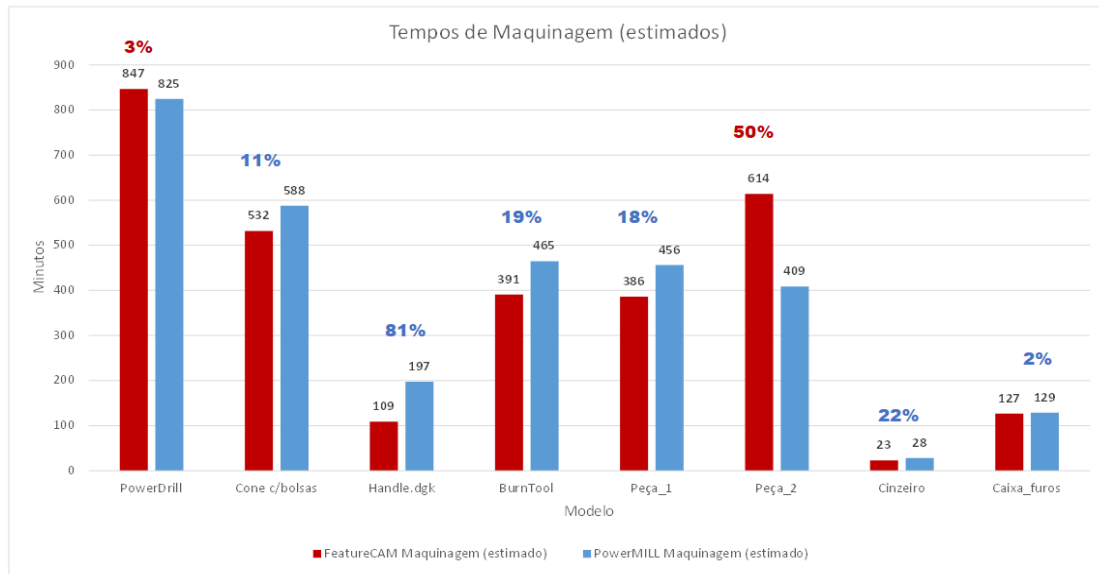


Figura 2–3: Gráfico representativo do tempo de maquinagem necessário, estimado pela simulação de cada aplicação CAM.

É possível inferir que o FeatureCAM exigiu mais tempo de programação nos modelos não-prismáticos - Powerdrill, Burntool, e Peça_2 - enquanto o PowerMILL mostrou-se mais demorado nos modelos prismáticos - Peça_1, cinzeiro, e Caixa_furos. O modelo Cone c/bolsas é uma exceção dos modelos prismáticos - o tempo de programação adicional é devido a um contratempo, referido durante a análise efetuada anteriormente, relativamente ao posicionamento do cursor - e é confirmada pelos 11% extra necessários em PowerMILL, durante a simulação.

Coloca-se então a questão: “qual a aplicação que prevalece na escolha?” A resposta revela-se com a colocação de mais quatro questões: “Que tipo de peça?” “Que tipo de máquina?” “Quanto gastar?” “Quem vai programar?” Só assim será possível despistar todas as condicionantes até se chegar à escolha ideal.

Vejamos então. Começando pelo tipo de peça: a questão da geometria prismática versus não-prismática foi abordada exaustivamente e conclui-se que o FeatureCAM está mais indicado para o primeiro tipo, e o PowerMILL para o segundo. Porém, caso a peça seja de revolução - e por isso destina-se a ser maquinada em torno ou torno/fresa - a escolha será obrigatoriamente FeatureCAM, uma vez que é a única aplicação que tem suporte para esse tipo de maquinagem. Aproveitando este último pormenor para discutir o tipo de máquina, verificou-se que ambas as aplicações atingem os objetivos pretendidos quer em 3 eixos ou 5 eixos - posicionais ou contínuos - com a particularidade de o PowerMILL ter ao dispor estratégias de 5 eixos contínuos especializadas que poderão responder melhor às necessidades da geometria da peça e por isso tirar melhor partido desse género de máquina.

As últimas duas questões devem ser discutidas conjuntamente: num cenário em que a escolha da aplicação ainda não foi despistada pelas duas questões anteriores, o preço e o tipo de operador devem eliminar as restantes dúvidas.

O tipo de operador é um fator importante na escolha do pacote ideal para venda a um determinado cliente. Durante o estágio, em trabalho de campo, foi frequente o encontro de operadores que pouca ou nenhuma experiência com aplicações CAM possuíam, e sim diretamente com o controlador e código NC da máquina do seu posto. Tipicamente, o cliente procurará a solução mais barata - nem sempre a ideal - visando otimizar a programação/produção de componentes no seu negócio. Vamos analisar dois casos.

Primeiro caso:

O tipo de operador que utilizará a aplicação é um operador esporádico, isto é, a maior parte do tempo não será despendida na programação. O cliente decidiu optar pela solução mais barata da aplicação que escolheu. As adversidades que irá encontrar consistem na dificuldade que o operador vai demonstrar para se habituar à interface da aplicação CAM - sem experimentação da sua parte, dificilmente a formação chegará para assimilar os conhecimentos necessários para conseguir o desempenho pretendido pelo cliente. Se o cliente escolheu FeatureCAM esta questão agudiza-se, pelo que a opção mais básica (2.5D) não inclui FeatureRECOGNITION, nem simulação de máquina, tornando todo o processo menos gráfico e menos intuitivo. É aqui que o fator preço é determinante na satisfação a médio/longo prazo do cliente: justifica-se um investimento nos módulos 3D (com FeatureRECOGNITION); e de simulação de máquina, uma vez que posteriormente, na prática, verifica-se o retorno do investimento - tarefas executadas de forma mais expedita porque facilita a interação e aprendizagem dinâmica com o operador.

Ainda assim, neste caso, a diferença de preço será 7% mais pelo PowerMILL em relação ao pacote FeatureCAM, pelo que este último será a solução mais adequada.

Outra alternativa seria manter a opção básica 2.5D (sem FeatureRECOGNITION), mas incluir simulação de máquina, e modelação de sólidos, uma vez que facilita a edição de características simples - com atualização automática das alterações - em vez de condicionar o utilizador com a edição minuciosa de dimensões das características 2.5D.

Neste caso, a diferença de preço seria de 25% mais pelo PowerMILL em relação ao pacote FeatureCAM, pelo que, novamente, o último será a solução mais adequada.

Segundo caso:

O tipo de operador é um operador que despenderá mais tempo na aplicação CAM, de forma a otimizar a programação das peças de geometria mais complexa, e por isso destinadas a

maquinagem com 5 eixos contínuos. Se o cliente escolheu PowerMILL, comprou a licença para maquinagem com 5 eixos. Entre as adversidades que poderá encontrar, destacam-se a necessidade de modelar superfícies para projetar estratégias especializadas; precisar de saber se o percurso gera colisões/invasões; poder simular com precisão o aspeto do modelo após o percurso; executar alterações/correções no modelo. Sendo assim, seria necessária a compra de uma aplicação CAD (e.g. PowerSHAPE, da DELCAM), de forma a modelar superfícies adequadas ao modelo e/ou executar alterações no próprio modelo e a compra de licenças para a interface de verificação de colisões VERICUT. Se escolheu FeatureCAM, o cliente comprou igualmente os módulos para 5 eixos posicionais e 5 eixos contínuos. A necessidade de gerar superfícies (não demasiado complexas) é satisfeita devido a capacidade integrada do FeatureCAM de criação de superfícies. Porém, as adversidades que pode encontrar são: necessidade de verificação de invasões/colisões com a máquina - simulação de máquina; necessidade de alterações do próprio modelo. Para colmatar esta situação, seria necessária a compra dos módulos de simulação de máquina, e de modelação de sólidos. Neste caso, a diferença de preço seria de 16% mais pelo pacote FeatureCAM em relação ao pacote PowerMILL. Evidentemente, o pacote PowerMILL é a escolha mais adequada.

Espera-se que o estudo, uma vez realizado, contribua auxiliar a Norcam a melhorar a resposta da empresa - através de um aconselhamento mais detalhado - aos seus clientes na área da maquinagem de componentes.

3 Caso Estudo: ETMA

Uma das oportunidades de acompanhar engenheiros da Norcam a um dos clientes da empresa, surgiu no âmbito de um problema com uma máquina de erosão por fio e o pós-processador do FeatureWIRE - módulo para maquinagem por erosão por fio.

3.1 A Empresa

A ETMA foi fundada em 1940, está situada em Braga e dedica-se ao fabrico de ferramentas, parafusos especiais, peças metálicas torneadas e estampadas utilizando a tecnologia adequada. Possui uma unidade de serralharia que dispõe igualmente de centros de maquinagem, tornos e máquinas de erosão por fio CNC. (6)

Antes de aprofundar a situação nesta empresa, segue-se uma breve abordagem de conceitos necessários para o desenvolvimento desta etapa.

3.2 O que é o Pós-Processamento

Sabendo que cada máquina utiliza uma linguagem própria, de acordo com o respetivo controlador, é clara a necessidade de existência de ferramentas que permitam que a informação gerada numa aplicação CAM seja corretamente lida pela máquina alvo. Esta indispensável ação de tradução é designada por pós-processamento, e requer a utilização de um pós-processador. (7)

Um pós-processador é uma ferramenta cuja função incide na tradução da informação gerada na programação CAM em linguagem NC, específica a cada máquina. Assim, pode-se dizer que o um pós-processador é responsável por conjugar as limitações e requisitos entre aplicações CAM e máquina NC, e, por essa razão, é por muitas vezes necessária a sua afinação - isto é, realizar um conjunto de alterações que o adaptam especificamente a uma determinada máquina (7).

3.3 O que é o XBUILD

O XBUILD é o programa de edição de pós-processadores para FeatureCAM de fresagem, torneamento, torno/fresa, e erosão por fio. Os pós-processadores de FeatureCAM são ficheiros do tipo “.CNC”, e apresentam dois componentes principais: informações sobre a máquina para o qual o pós-processador está a ser construído; e formatos que descrevem como as várias operações programadas devem ser traduzidas para código G - estes formatos constituem um *modelo-tipo* que será utilizado para criar o código G específico para uma determinada máquina, a partir dos percursos independentes de máquina. (7)

3.4 Situação

A ETMA possui diversas máquinas de erosão por fio, pelo que se verifica uma anomalia numa delas - concretamente a “AGIE CLASSIC-V2”. As máquinas AGIE, da Charmille, estão preparadas para receber informação criada na própria aplicação da marca. Quando essa determinada aplicação não é utilizada, há uma série de informação que não é criada, e, por essa razão, a máquina não consegue interpretar corretamente o programa.

Essa informação consiste em três ficheiros diferentes:

- .SBL → Onde estão guardados os atributos da tecnologia – diâmetro do fio, corrente, velocidade de alimentação do fio, etc.
- .SBR → Nem sempre se utiliza, mas tem sempre de existir. É onde é guardado o nome do projeto caso este seja demasiado longo.
- .ISO → Onde é guardada a geometria do corte.

Uma vez que a ETMA optou por utilizar o FeatureCAM para lidar com a programação da maquinação de erosão por fio, a máquina não consegue ler o programa pós-processado na aplicação porque há informação em falta. O ambiente de desenvolvimento integrado do FeatureCAM permitiu a criação de uma macro que serviu para contornar esse problema.

3.5 Resolução

De forma a resolver o problema, compararam-se num editor de texto dois ficheiros “.SBL”: um de um outro projeto da empresa que corre bem na máquina, e o que demonstra problemas. A partir desta análise comparativa, foi possível observar e deduzir que havia um erro no XBUILD que afetava a geração do código G, assim como encontrar incongruências na macro que afetavam o *output* das nomenclaturas.

A figura 2-4 exibe os fluxogramas (1, 2 e 3) que expõem visualmente o problema e respetiva resolução.

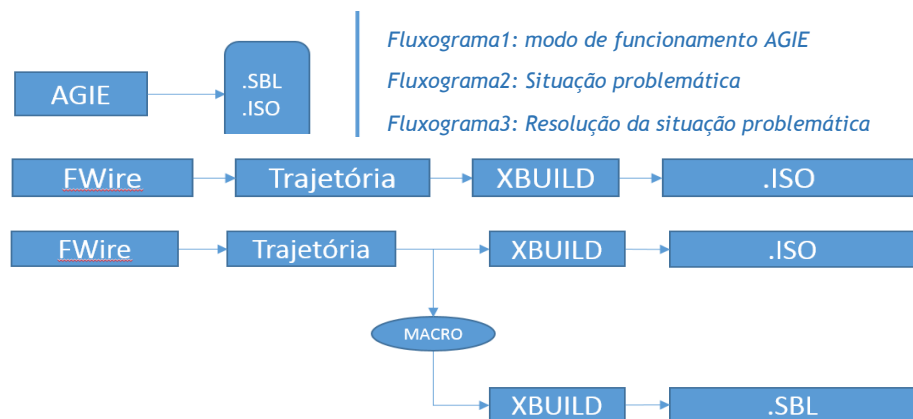


Figura 3—1: Fluxogramas representativos da situação na empresa.

No fluxograma 1 e 2 estão, respetivamente, representados os casos descritos anteriormente: com a utilização do software da Charmille são gerados ambos os ficheiros “.SBL” e “.ISO” necessários para o correto funcionamento da máquina; com o FeatureCAM é gerado unicamente o ficheiro “.ISO”, e por essa razão, a máquina não reconhece o programa. A solução está representada no fluxograma 3, onde se verifica um duplo pós-processamento do projeto FeatureCAM - uma vez para gerar o ficheiro “.ISO” com a geometria do corte, e novamente, por consequência da utilização de uma macro que executa o pós-processamento de forma que seja gerado um ficheiro “.SBL” com a informação necessária à máquina.

Foram, porém, detetadas posteriormente algumas incongruências na leitura do programa na máquina. Estas incongruências serão descritas em seguida, incluindo a forma como foram solucionadas.

Um erro no XBUILD causou a geração incorreta do código G. Concretamente, o comando G01 foi substituído por um caractere desconhecido nesta linguagem de programação de máquina,

assim a utilização incorreta dos comandos G70 e G71 como indicadores de movimento linear, causando um erro de sintaxe, o que se traduzia na máquina não encontrar a geometria do projeto.

Verificou-se também que o atributo correspondente ao nome do fio não era detetado na máquina devido a esta não reconhecer o caractere *underscore* “_”. Este problema foi resolvido com o auxílio da macro, que substituiu este caractere por outro reconhecido pela máquina, neste caso o espaço “ ”.

O tipo de material não era reconhecido pela máquina, isto deveu-se ao facto de que cada tipo de material tem-lhe um código atribuído (e.g. “Aço” corresponde ao código “0001”), pelo que o pós-processador não estava a gerar o código correto para máquina. A resolução deste problema consistiu na introdução “*hard-coded*” de um parâmetro que incluía o código correto a ser lido pela máquina - não é a solução ideal, porém mediante o tempo disponível e necessidade de produção, foi a adotada.

Também o atributo Qualidade não era reconhecido pela máquina, devido à existência de um parâmetro no pós-processador que criava uma qualidade com o mesmo nome, acrescentando “_1” ao nome pretendido. Isto resultaria num nome desconhecido à máquina, e por essa razão, incompatível. A substituição desta função pela função “*usar*” nesse parâmetro, resolveu o problema.

Ainda por resolver encontra-se o atributo Tecnologias, que requer, de momento, seleção manual no controlador da própria máquina.

4 Formação Avançada de FeatureCAM

Para poder dar resposta as solicitações da Norcam sobre os diferentes módulos do FeatureCAM, foi proposta uma formação avançada de FeatureCAM, com a duração de quatro dias. O conteúdo dessa formação incidiu sobre quatro temas específicos:

- Modelos de Resto;
- Macros;
- FeatureTURN / FeatureTURNMILL;
- Maquinagem 5 - eixos.

4.1 Modelos de Resto

Um modelo de resto é, conforme o nome sugere, um modelo representativo do material restante na peça que está a ser maquinada, após uma determinada operação (1).

No FeatureCAM, a criação de um modelo de resto pode ser feita de diferentes maneiras: a partir do bloco de material; a partir de um sólido existente já importado para o FeatureCAM;

a partir do resultado de uma operação; ou a partir de um ficheiro “.STL”. A formação avançada de FeatureCAM debruçou-se essencialmente sobre a última maneira, uma vez que é uma adição recente, incluída na última versão do programa, e verifica-se extremamente útil por obter bons resultados de forma mais expedita.

O FeatureCAM permite a criação de ficheiros “.STL” a partir do resultado de uma determinada simulação, unicamente com a opção para salvar os resultados da simulação como um ficheiro “.STL”: isto é particularmente vantajoso uma vez que, desta forma, o modelo de resto pode ser fruto de um conjunto com número de operações variáveis. Esta forma de criação de modelo de resto é apenas devidamente apreciável quando é levado em consideração que anteriormente seria necessário a modelação CAD de um sólido com a forma pretendida após esse número de operações; ou então que a sua criação estaria condicionada apenas a uma única operação de desbaste.

Após a criação de um modelo de resto e sua respetiva importação para o projeto, este pode ser aplicado numa ou mais operações - e nesse caso, este passa a ser o bloco de material considerado para o cálculo da operação a que foi atribuído. Isto minimiza tempos de corte, reduzindo movimentos aéreos desnecessários, em particular em operações de rápida remoção de material, uma vez que o FeatureCAM está a trabalhar com o “estado atual” da peça que está a maquinar, e não o bloco inicial.

A utilização de um modelo de resto pode ser combinada diferentes opções de utilização:

Dimensões da Superfície do Modelo

Combina a utilização do modelo de resto com a superfície selecionada no modelo. Isto resulta na silhueta da superfície funcionar como forma do percurso de corte, caso o percurso de maquinagem seja em espiral.

Dimensões do Bloco

Combinado com a utilização do modelo de resto, esta opção utiliza a silhueta do modelo de resto como forma do percurso de corte, caso se trate de uma maquinagem em espiral.

Seleção de Curva como Fronteira.

Combina a utilização do modelo de resto com uma curva que servirá como fronteira/limite para a operação.

4.2 Macros

O FeatureCAM dispõe de um ambiente integrado de desenvolvimento - *Integrated Development Environment (IDE)* - baseado na linguagem WinWrap Basic, que possibilita a criação e edição de macros.

4.2.1 Ambiente Integrado de Desenvolvimento

Um ambiente integrado de desenvolvimento é um aplicativo, integrado num outro, que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento desse *software*, com o objetivo de agilizar a sua produtividade. (8)

4.2.2 Linguagem WinWRAP Basic

A linguagem WinWrap Basic é baseada na linguagem Visual Basic, e é utilizada na construção de macros e, por essa razão, utilizada em diferentes programas, incluindo os que suportam um ambiente integrado de desenvolvimento (8).

4.2.3 O que são Macros

Macros são funções ou conjunto de funções programáveis pelo utilizador, de forma a automatizar uma ou mais determinadas operações. Podem ainda incluir interatividade com o utilizador através de caixas de diálogo, introdução manual de informação (numérica ou alfanumérica), ou aquisição de entidades (geometria, superfícies, sólidos, etc.). Outra aplicação vantajosa de macros é em clientes que não têm muita habilidade com o software: é possível configurar uma ou mais macros que executam tarefas simples, e até automatizar uma série de tarefas com uma macro do tipo “assistente”.

No caso específico da formação foram propostas e criadas duas macros, a título de exercício, que mostram como podem ser utilizadas para aumentar a produtividade e simplificar a utilização do FeatureCAM:

Uma das macros tinha o intuito de eliminar todas as curvas que não fossem utilizadas por nenhuma feature. Para além de tornar o projeto mais leve, também reduz o possível “ruído visual” criado pelo excesso de geometria desnecessária. A interface da macro foi desenhada

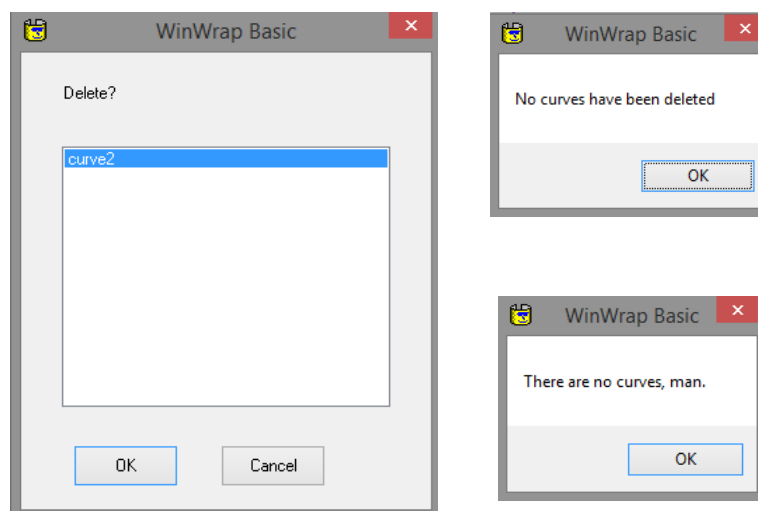


Figura 4–1: Caixas de texto elaboradas na macro da formação avançada de FeatureCAM.

para que incluísse uma lista com as curvas que seriam apagadas, uma caixa de texto informativo quando não fossem detetadas curvas, e outra para quando a operação fossem interrompida, conforme estão representadas na figura 2-5.

Uma caixa de texto informativo para avisar o utilizador de que as curvas foram apagadas podia ter sido incluída, no entanto, tratando-se apenas de um exercício, e por ser executado da mesma maneira que as outras caixas de texto presentes, determinou que a sua implementação seria meramente opcional uma vez que o conceito foi assimilado com sucesso.

A outra macro consistia numa rotina que detetava todos os objetos geométricos que fossem círculos, e criava Características de furo com o diâmetro específico a cada um. A profundidade dos furos seria única, e especificada pelo utilizador assim que a macro fosse iniciada. A figura 2-6 mostra um exemplo destes eventos. Desta vez a macro incluía uma “*input box*”, onde o utilizador deveria indicar a profundidade pretendida. Esse valor seria posteriormente utilizado no parâmetro “profundidade” da *feature*.

Pela mesma razão da macro anterior - o conceito já ter sido assimilado com sucesso - não foram incluídas caixas de texto informativo, de forma a evitar atrasos na formação.

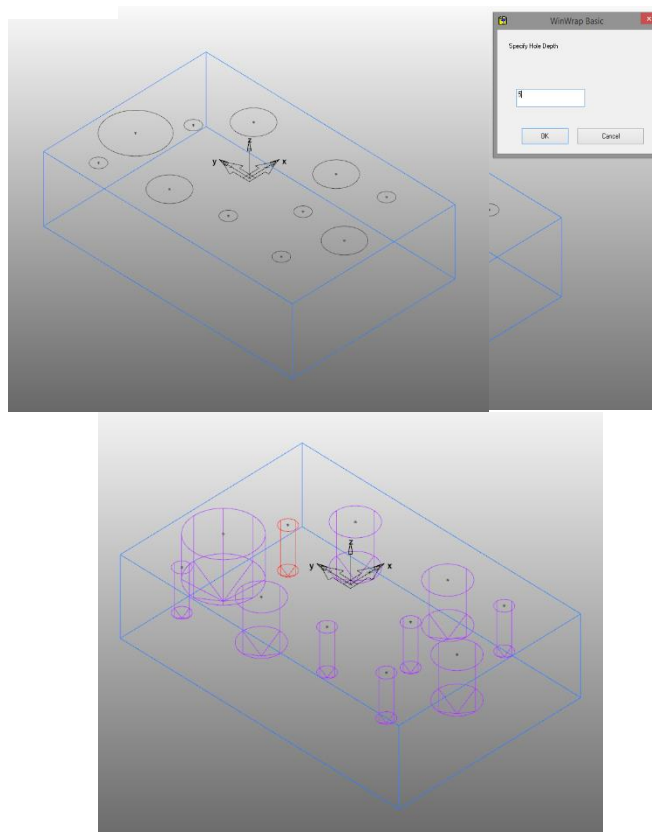


Figura 4—2: Exemplo da execução da macro. Em cima: elaboração dos círculos e indicação da profundidade. Em baixo: Características programadas após indicação da profundidade.

4.3 FeatureTURN e FeatureTURN/MIL

O FeatureTURN e o FeatureTURN/MILL são as soluções CAM do FeatureCAM para maquinagem em torno e torno de fresa, respetivamente.

Para poder beneficiar e entender a formação avançada, foi primeiro necessária a familiarização com a tecnologia do torno/fresa. Daí resultou o seguinte levantamento dos principais conceitos.

4.3.1 Princípios básicos de maquinagem por torno / torno de fresa

4.3.1.1 Componentes Principais

Carro

Onde está localizada a bucha secundária. Responsável pelo posicionamento desta, através do movimento que executa ao longo do eixo X.

Bucha

Segura o bloco de material. É também por onde é alimentado o material. Pode existir uma secundária, em determinadas máquinas que o permitam, para execução de peças mais complexas.

Grampos

Responsáveis por fixar a peça. Existem quer na bucha principal, quer na secundária. Sincronizam as ações de aperto/desaperto para efeitos de transferência da peça.

Torreta

Componente rotativo onde se localiza o porta-ferramentas.

4.3.1.2 Cinemática e Movimento

O processo de torneamento consiste na rotação da peça em torno de um eixo, e na aproximação da ferramenta imóvel de encontro à peça, ocorrendo o corte do material e obtendo-se assim o perfil da superfície desejada (9).

Movimento Principal ou de Corte

O movimento de corte traduz-se na rotação da peça que se move a uma determinada velocidade de corte. Expressa-se unidades métricas por minuto (normalmente milímetros), ou, se for em velocidade angular, em rotações por minuto (9).

Movimento de Penetramento

Este movimento é expresso em milímetros, e é entendido de duas maneiras, consoante a operação a realizar. Durante o torneamento, é entendido como o movimento transversal da ferramenta em relação à peça. Em etapas de faceamento, é entendido como o movimento de avanço, que determina a altura da apara / profundidade de corte (9).

Movimento de avanço

O movimento de avanço é dado pelo movimento longitudinal da ferramenta sobre a peça, pelo que define a espessura da apara. Pode ser expressa em função do tempo em milímetros por minuto, ou em função da rotação da peça, em milímetros por rotação (9).

O processo de fresagem consiste no arranque progressivo do material, fazendo uso de uma ferramenta de aresta múltipla, denominada fresa. A cinemática dos eixos num torno/fresa suporta operações de fresagem, pelo que podem ser realizadas operações de 2.5D (e.g. caixas, postigos, ranhuras, faceamentos) e 3D (e.g. superfícies complexas com recurso a programação CAD/CAM) (9).

Cinemática

A cinemática das máquinas torno/fresa pode ser ortogonal ou tangencial. No primeiro caso, a extremidade da fresa está em contacto com a peça, enquanto no segundo caso, é a lateral da fresa que está em contacto com a peça. Ambas as variantes encontram-se representadas na figura 2-7 (10).

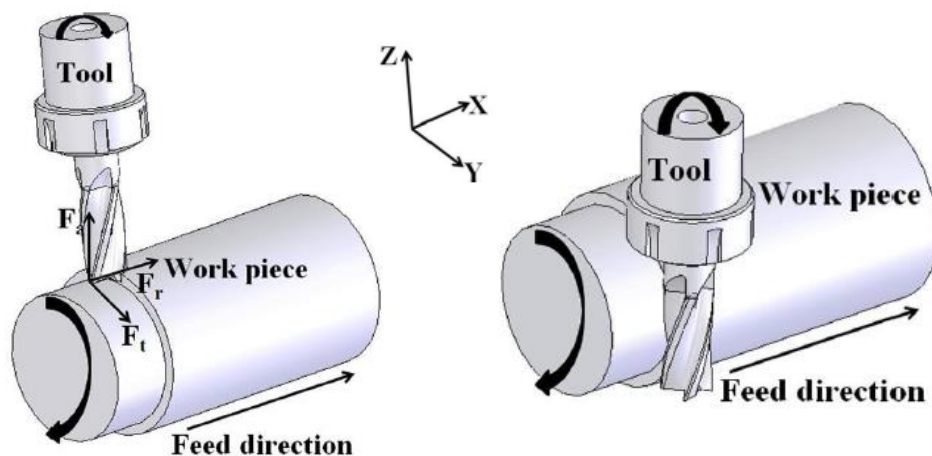


Figura 4-3: Esquema representativo da cinemática dos tornos/fresa. À esquerda: cinemática ortogonal. À direita: Cinemática tangencial.(10)

O torneamento com fresagem caracteriza-se pela utilização de uma fresa para maquinar peças de revolução, obtidas em torno. Em comparação com o torneamento, em maquinagem

em tornos/fresa o desgaste da ferramenta é menos acentuado, devido à intermitência do corte, de onde advêm menores temperaturas de corte, evitando-se desta forma assim como craterização excessiva na zona do ângulo de saída da apara (9) (11). A remoção de material é mais rápida uma vez que a fresa e a bucha do torno são motorizados - e por isso tanto a ferramenta como a peça estão em rotação simultânea (10). A quebra da apara com a fresa é outra característica do torneamento com fresagem - no torneamento tradicional, é frequente que esta acumule em torno da ferramenta causando defeitos como formação de apara aderente tanto na superfície do material como na aresta de corte da ferramenta(9)(11) (12).

4.3.1.3 Operações realizáveis

As operações principais realizáveis em torno estão brevemente descritas em seguida.

Facejar

Esta operação incide da seção transversal da peça: a ferramenta desloca-se ao longo do seu eixo transversal, que, por sua vez, é perpendicular ao eixo de rotação da peça. A fixação desta deverá alvo de cuidado, uma vez que a operação de facejamento é executada no topo da peça e, assim, a força necessária para a libertação da apara é exercida radialmente e pode provocar a flexão da peça (9).

Torneamento Exterior

O torneamento exterior é uma operação que visa a obtenção do perfil final da peça, através da remoção de todo o excesso de material existente sua periferia. O torneamento pode ser ou cilíndrico, o qual é efetuado através de várias secções cilíndricas de diferentes diâmetros; ou de perfil. Neste último caso, a geometria do corte segue um determinado conjunto de linhas e arcos (9).

Torneamento Interior

Conforme o próprio nome sugere, esta operação incide no interior da peça, pelo que deve ser precedida de outra operação que permita acesso interior como uma furação ou perfil interior. A ferramenta é posicionada longitudinalmente em relação à peça, e desta forma limita a parametrização do corte, acrescentando cuidados necessários ao posicionamento da peça e da ferramenta (9).

Roscagem

A operação de roscagem pode ser realizada ou com um buril ou com macho, e, naturalmente, a escolha implicará características diferentes (9).

Roscagem a Buril

A roscagem a buril permite a maquinagem de roscas direitas ou esquerdas, no interior ou exterior da peça, com um determinado passo, constante ou variável. Podem ser abertas em superfícies cilíndricas ou cónicas, e ter o número de entradas pretendido, com a programação necessária. O perfil da rosca pode ainda ser triangular, quadrado, trapezoidal ou semiesférico. A estabilidade da peça nesta operação é crucial para o seu sucesso, uma vez que esta está sujeita a elevadas forças de corte e de atrito desenvolvidas na aresta de corte da ferramenta (9).

Roscagem a Macho

Esta operação requer que a ferramenta seja montada em acessórios próprios para o efeito - isto é, que permitam compensar a sua inércia e possibilitem o amortecimento necessário, de forma que não ocorra dano nem na ferramenta nem na peça. A ferramenta tem de ser alinhada com a peça e o respetivo eixo de rotação (9).

Sangrar

A operação de sangramento visa realizar um canal de grande profundidade, radialmente em relação à peça, com a finalidade de separar do resto do material. A ferramenta utilizada neste tipo de operação é muito frágil, e requer por isso cuidado especial quando o diâmetro da peça é menor, já que nesta condição poderá fraturar. Nos casos em que o diâmetro da peça é elevado, podem ocorrer problemas de vibração que advêm da grande zona de contacto entre a aresta da ferramenta e a peça (9).

Ranhurar

Consiste na abertura de canais ou ranhuras que podem ser realizadas na periferia ou zona envolvente da peça, no interior ou numa das suas faces. A abertura destes canais pode servir a montagem de freios, anilhas, vedantes, zonas de batente ou saídas de rosca, redução de atrito, bolsas de lubrificação, etc. Requer a mesma atenção em relação à ferramenta que se verifica na operação de sangramento (9).

Furação

Uma operação de furação consiste na remoção do material existente no interior da peça com o auxílio de uma broca, de onde resulta um furo cilíndrico de um determinado diâmetro. Quando este é muito profundo, o recuo rápido da ferramenta é aplicado uma ou mais vezes durante a operação, para que ocorra limpeza da limalha. Num torno, esta operação requer alguma atenção no que diz respeito ao alinhamento da broca com o eixo do diâmetro da peça, aquando da utilização de ferramentas não motorizadas (9).

Mandrilagem

À correção da dimensão de um furo com o propósito de garantir um determinado diâmetro e o melhoramento do acabamento superficial das respetivas paredes tirando partido de um mandril, é atribuída a designação de mandrilagem. Sendo uma operação que executa um acabamento, a mandrilagem é por isso delicada, pelo que a falta de atenção no que diz respeito às velocidades de rotação e avanço, assim como à sobreespessura deixada para esta operação, poderá resultar na quebra do mandril ou num acabamento indesejável das paredes do furo (9).

Recartilhagem

A recartilhagem traduz-se na utilização de roletes numa operação de gravação de esmagamento. A recartilhagem pode ser direita ou cruzada, consoante o tipo de rolete utilizado: estriados ou direitos para o primeiro tipo; picados, em cruz ou contrapostos para o segundo. Destina-se a zonas da peça sujeitas a operações de aperto e desaperto manuais, peças de gravação ou por questões estéticas (9).

4.3.2 Funções Avançadas FeatureTURN

4.3.2.1 Sincronização

O FeatureTURN permite a sincronização das diferentes operações de um projeto quando estão disponíveis mais do que uma torreta na máquina. Isto mostra-se particularmente vantajoso no que diz respeito à minimização tempo de maquinagem, já que possibilita operações diferentes em buchas diferentes, ou, então, operações mais avançadas na mesma bucha (13).

4.3.2.2 Torneamento em paralelo

O torneamento em paralelo consiste na utilização de duas torretas para efetuar uma determinada operação, cujas ferramentas estão desfasadas ligeiramente - deste modo efetua-se o corte e imediata retificação. O FeatureCAM duplica a característica para o programa da torreta inferior: ambas as torretas têm equipadas ferramentas idênticas (13).

4.3.2.3 Follow Turning

O torneamento por “*Follow Turning*” tira partido da utilização de duas torretas, no qual cada uma executa uma operação distinta, e - conforme sugerido pelo nome anglo-saxónico - uma ferramenta “segue” a outra. Há, portanto, um desfasamento significativo entre as ferramentas. A aplicação mais comum desta estratégia é, a título de exemplo, a execução de uma operação de desbaste pela primeira torreta, seguida por uma operação de acabamento executada pela outra torreta.

4.3.2.4 Mapeamento de Ferramentas

Reorganização da posição das ferramentas nas torretas: fundamental para que se evitem colisões durante a simulação e maquinagem (13).

4.3.2.5 Enrolamento de características 2.5D

A função de enrolamento é particularmente útil no que toca a inscrições. A característica, elaborada em 2.5D, após ser criada com as dimensões necessárias, é “enrolada” em torno de um determinado eixo, e projetada na superfície do modelo (13).

4.4 Maquinagem 5 - eixos

4.4.1 Maquinagem a 3 + 2 eixos

Foi abordada a maquinagem a 3 +2 eixos, ou 5 eixos descontínuos. Esta parte da formação incidiu principalmente na criação e orientação de *setups* (planos de trabalho) no modelo, de forma a orientar os eixos da máquina nas operações em que este tipo de maquinagem será empregue.

4.4.2 5 Eixos Contínuos

Foram abordadas as diferentes opções ao dispor para criar um percurso de maquinagem a 5 eixos contínuos.

4.4.2.1 Estratégias de “Lead/Lean”

As estratégias de “Lead/Lean” permitem a inclinação da ferramenta em relação à direção do percurso que executa, podendo ser atribuídos separadamente para que se atinja a orientação pretendida.

Entende-se por ângulo “Lead” a inclinação da ferramenta relativamente ao sentido do percurso: valores positivos inclinam-na para a frente, enquanto valores negativos inclinam-na para trás. Deverá interpretar-se por ângulo “Lean” a inclinação que a ferramenta toma perpendicularmente ao sentido de movimentação: valores positivos inclinam-na para a esquerda, enquanto valores negativos inclinam-na para a direita (14).

O FeatureCAM oferece diversas modalidades para o cálculo dos ângulos:

- Normal ao ponto de contacto: ambos os ângulos são medidos a partir da normal da superfície no ponto de contacto com a ferramenta.
- Vertical: a medição dos ângulos é efetuada relativamente ao eixo Z do plano de trabalho ativo.
- Sentido de deslocação: os ângulos são medidos a partir da perpendicular à direção do movimento da ferramenta.

Ferramenta Fixa

A configuração de ferramenta fixa tem como objetivo alinhar a ferramenta segundo um determinado vetor. Desta forma, cria-se um percurso de maquinagem a “5 eixos descontínuos falso”, com a particularidade de se evitar a criação de novos planos de trabalho. O vetor é expresso com coordenadas do tipo (X, Y, Z).

As seguintes estratégias de alinhamento do eixo da ferramenta estão agrupadas segundo dois prefixos: “To” e “From”. São particularmente utilizadas quando é necessário evitar a colisão do cone da ferramenta com o modelo a maquinar.

To Point/Line/Curve

Conforme o prefixo destas estratégias sugere, em anglo-saxónico, o eixo da ferramenta é direcionado para a geometria escolhida - um ponto, uma linha, ou uma curva.

To Point

Com esta estratégia, o eixo da ferramenta estará alinhado em direção a um ponto. É particularmente útil na maquinagem de postiços semiesféricos. A posição do ponto é determinante da inclinação da ferramenta (14).

To Line

O eixo da ferramenta é direcionado para uma determinada linha, cujo ângulo não tem qualquer restrição - podendo ser horizontal, vertical, ou outro - o que permite jogar com a inclinação da ferramenta consoante necessário (e.g. postiços cilíndricos de diâmetro variável) (14).

To Curve

Ao alinhar a ferramenta em direção a uma determinada curva, definida pelo utilizador, consegue-se uma precisão mais controlada do percurso, apropriada para evitar colisões com características de geometria mais irregular no modelo (14).

From Point/Line/Curve

As estratégias com este prefixo, “From”, do anglo-saxónico, apresentam o eixo da ferramenta alinhado a partir da geometria escolhida - um ponto, uma linha, ou uma curva. Uma forma bastante rápida de compreender o efeito será visualizar as geometrias como “lâmpadas”, e o alinhamento do eixo da ferramenta como a “luz” emitida.

From Point

O eixo da ferramenta é “irradiado” do ponto, pelo que é alinhado nas superfícies do modelo. É frequentemente utilizado em caixas semiesféricas, ou cantos arredondados (14).

From Line

Quando perante cavidades descobertas que contenham contra-saídas, a aplicação desta estratégia pode solucionar possíveis colisões. O alinhamento da ferramenta é calculado segundo uma linha (cujo ângulo não restrição - pode ser horizontal, vertical, ou outro qualquer), e é projetado a partir desta (14).

From Curve

O alinhamento do eixo da ferramenta a partir de uma curva oferece um controlo preciso de como a ferramenta deverá estar posicionada ao longo de uma determinada característica do modelo a ser maquinado. Desta forma, promove-se o ponto de contacto ideal com as superfícies da peça. A posição da curva, em Z, determina a magnitude da inclinação da ferramenta (14).

4.4.2.2 Maquinagem *Swarf*

A estratégia de maquinagem “*Swarf*” consiste na utilização da parte lateral da ferramenta para efetuar a remoção de material. É, por isso, uma estratégia que só pode ser aplicado em determinadas superfícies do modelo - em superfícies cuja profundidade de corte não supere o comprimento da ferramenta, e que não demonstrem ser convexas ou côncavas, de forma a garantir o contacto total da ferramenta com a superfície a ser maquinada (14).

4.4.2.3 Enrolamento de características 2.5D

A função “enrolamento” é particularmente útil no que toca a inscrições. Conforme o nome sugere, a Característica em 2.5D, após ser criada com as dimensões necessárias, é “enrolada” em torno de um determinado eixo, e projetada na superfície do modelo (14).

5 Implementação de um Torno/Fresa no Grupo VANGEST

5.1 A empresa

Distrim2 - Grupo VANGEST

O grupo VANGEST foi fundado em 1986 e desde então, ao longo do seu crescimento, agregou um grupo de doze empresas, focadas em três princípios fundamentais: *Design e Engenharia*; *Soluções Industriais*; e *Tecnologias de Informação*, destacando-se assim no panorama empresarial europeu (15).

A empresa Distrim 2, ilustrada na figura 2-8, fundada em 1997 na Marinha Grande, integra o grupo Vangest e destaca-se nas áreas de engenharia, desenvolvimento do produto, prototipagem rápida, maquinagem de componentes, assim como nas áreas de projeto e produção de meios de controlo (15).



Figura 5—1: Fachada da empresa Distrim 2.

5.2 Enquadramento

O Grupo Vangest, ao qual pertencem as empresas Distrim, Distrim2, MPTool, 3D Tech, HPM e Moliporex, Harchi, Grandesign, Cadflow, Nextvision, e Osteomodel; adquiriu à Norcam um pacote de aplicações CAM composto por 35 licenças de PowerMILL, a maioria com opção de maquinagem a 5 eixos, 35 licenças de PowerSHAPE, assim como uma licença de FeatureTURNMILL. Esta licença de FeatureTURNMILL destina-se a um torno/fresa da Distrim2, de forma a substituir a programação manual pela programação CAM.

Sendo assim, foi proposta como tarefa a implementação do FeatureTURNMILL na Distrim2, para aumentar a produtividade e, fundamentalmente, permitir a programação de peças mais complexas.

5.3 Preparação

Antes de encarar diretamente o espaço da Distrim 2 foram efetuadas uma pesquisa e uma recolção de informações-chave, de forma a preparar o trabalho de implementação. De entre as informações-chave necessárias destacam-se saber a marca e modelo da máquina; qual controlador da máquina; e a existência do pós-processador.

5.3.1 A máquina, o controlador e o pós-processador

A máquina trata-se de um torno/fresa da DMG, cujo modelo é designado por “CTX ALPHA 500”. As principais características da máquina incluem uma bucha secundária; eixo Y para operações de fresagem; e capacidade para altas rotações por minuto - até 10.000rpm. A DMG oferece três opções no que diz respeito ao tipo de controlador - duas opções Siemens e uma Heidenhain - pelo que a DISTRIM 2 optou pela última: “DMG ERGOline® Control with Heidenhain with DINPlus (TurnPlus optional) - single-channel”.

Relativamente ao pós-processador, a DISTRIM 2 não possuía nenhum ao seu dispor, pelo que foi necessário recorrer a outros meios para sua obtenção, e isso será abordado posteriormente no relatório.

5.3.1.1 Tipo de Trabalho

Uma vez na DISTRIM 2, foi possível observar a máquina em atividade, pelo que esta se encontra em utilização, destinando-se principalmente à produção de pequenas peças em série, como adaptadores de relógio, pernos de assentamento, casquilhos, etc.

5.4 Execução

Foi concedido o acesso a um desenho técnico bidimensional de uma das peças que é obtida na máquina, assim como um exemplar físico, para que possa haver uma base de comparação durante o processo de implementação. Trata-se de um tubo para martelos.

Deste modo, procedeu-se à modelação tridimensional da peça a partir do respetivo desenho técnico, na aplicação CAD PowerSHAPE, da DELCAM.

A primeira etapa consistiu no desenho do perfil da peça, e consequente criação de uma curva composto a partir do mesmo, conforme ilustra a figura 2-9.

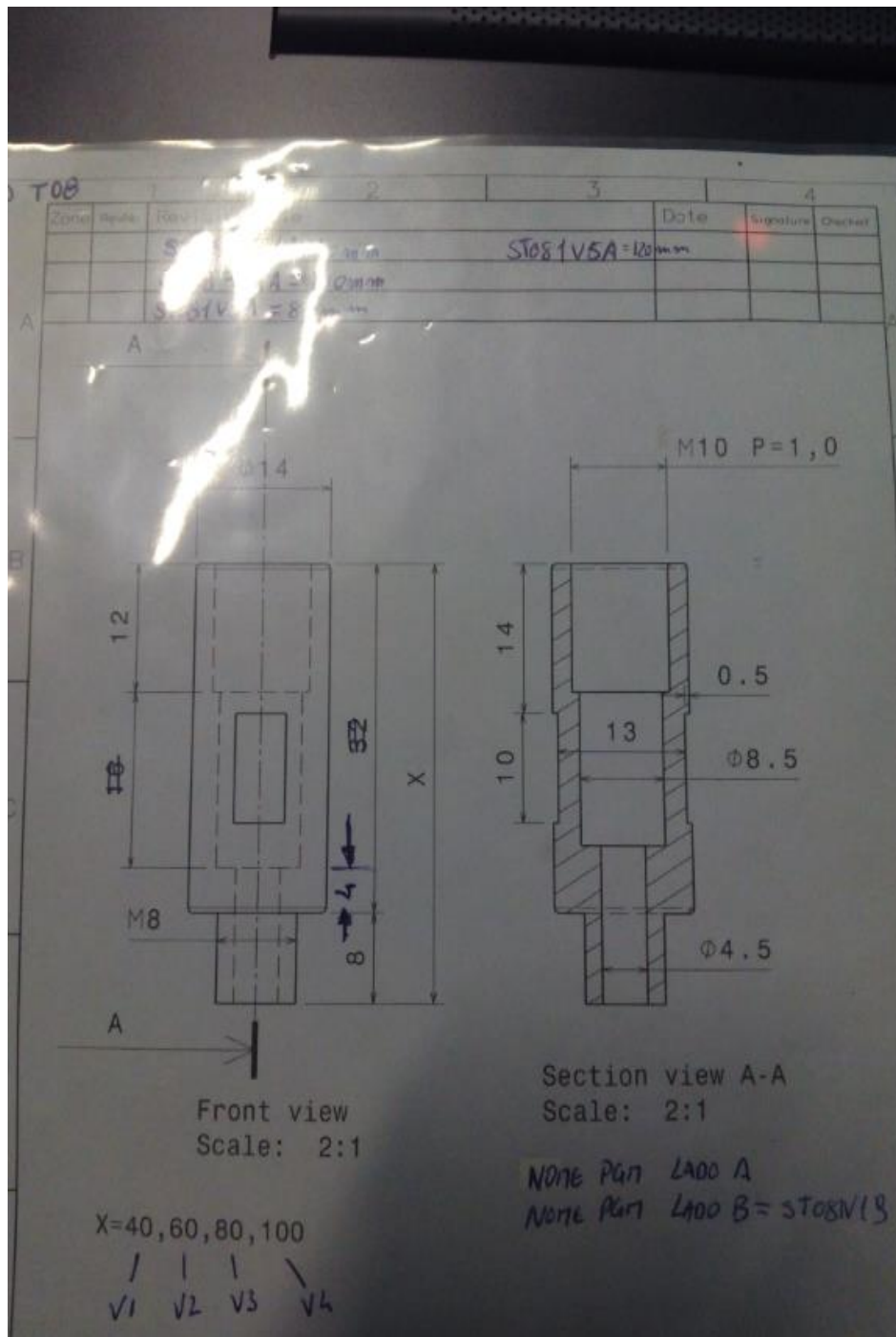


Figura 5—2: Desenho técnico da peça.

Seguiu-se então a obtenção de um sólido por revolução, a partir dessa curva, conforme ilustrado na figura 2-10.

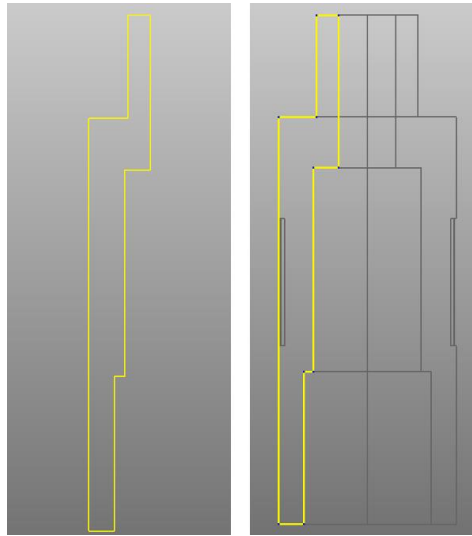


Figura 5—3: Esquerda: Desenho da curva composta. Direita: obtenção de um sólido a partir da curva composta desenhada.

Por fim, os rasgos foram modelados através de operações booleanas, nomeadamente a subtração de dois sólidos paralelepípedicos ao sólido obtido anteriormente. O resultado obtido está demonstrado na figura 2-11.

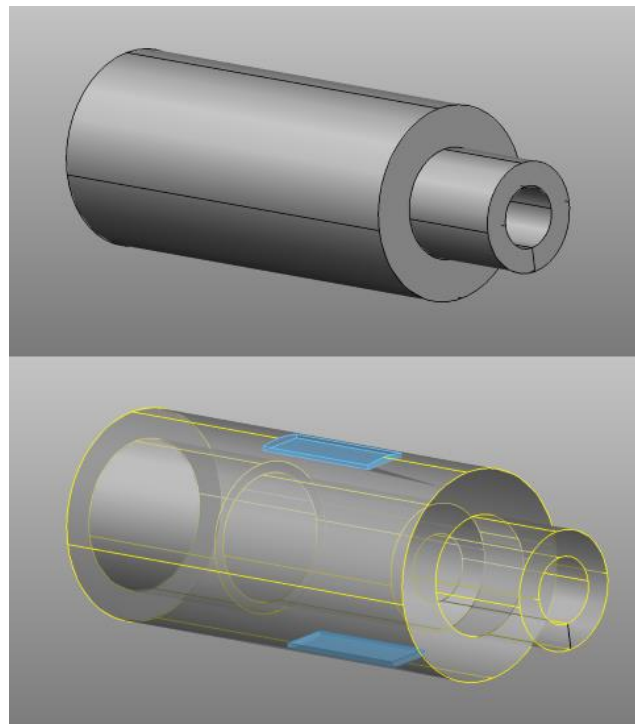


Figura 5—4: Modelo da peça: antes e depois das operações booleanas (cima e baixo, respetivamente).

5.4.1 Programação da peça em FeatureCAM

Uma vez desenhado o modelo tridimensional da peça, procedeu-se à sua programação em FeatureTURNMILL (*add-in* para tornos/fresa no FeatureCAM).

Para isso foram reunidas informações junto dos operadores, que viabilizaram uma programação mais aproximada da que é realizada pelos próprios - as operações necessárias, o tipo de ferramentas utilizadas em cada operação, e o código NC para poder assim comparar o código NC gerado pelo FeatureCAM com o código utilizado na máquina.

As operações executadas na Distrim 2 para maquinar a peça consistem em um desbaste para obtenção do perfil; furação e escareamento, seguidos de roscagem interior com macho; o acabamento do perfil; a fresagem das caixas; sangramento com transferência para a bucha secundária; desbaste e acabamento do perfil; roscagem exterior; e por último a furação do menor diâmetro. A tabela 2 estabelece as operações mencionadas com as respectivas ferramentas, conforme a informação fornecida pelos operadores.

Tabela 2- Tabela expositiva das operações de maquinagem da peça na Distrim 2, a cargo do operador destacado.

Operação	Ferramenta
Desbaste	Ferro Exterior Esquerdo 58 Graus
Acabamento	Ferro Exterior Esquerdo 35 Graus
Escareamento	Centrador
Furação	Broca Ø9mm HSS axial frontal
Roscagem a macho	Macho M10 axial frontal
Fresamento das caixas	Fresa direita Ø6mm radial
Sangramento	Sangrar exterior 3mm R0.2 T16mm
Desbaste	Ferro exterior direito 58 Graus
Acabamento	Ferro Exterior Direito 35 Graus
Roscagem Interior	Ferro Roscar 125mm
Furação	Broca Ø4.6mm HSS

Ao fim de aproximadamente 21h, conseguiu-se uma programação primária da peça, com pequenas alterações no que diz respeito às operações de maquinagem - isto deve-se ao facto de as operações especificadas pelos operadores não corresponderem totalmente às características do desenho técnico - nomeadamente na necessidade de uma furação com diâmetro 8.5 mm - e também pela configuração das operações de roscagem em FeatureCAM não suportarem a utilização machos e requererem então a simulação com ferros exteriores ou interiores. O resultado obtido está ilustrado pelas A-34 a A-36, em anexo.

Verifica-se que foi concluída com sucesso uma simulação primária do tubo para martelos. Porém de forma a conseguir uma simulação o mais fiel possível à realidade, é necessária que esta seja, concretamente, uma simulação de máquina, cujo processo será abordado de seguida.

5.5 Adversidades Encontradas

O processo de implementação não se mostrou tão linear como o desejável, pelo que foram encontrados alguns obstáculos à sua realização, concretamente no que diz respeito ao ficheiro tridimensional da máquina e ao pós-processador, conforme relatado em seguida.

5.5.1 Ficheiro Tridimensional da Máquina

No seguimento da necessidade de uma simulação de máquina, o primeiro obstáculo surge aquando da procura do modelo tridimensional da máquina - o FeatureCAM naturalmente não inclui tal ficheiro. Este deve ser requisitado ao fornecedor da máquina, o que resulta, na maior parte das vezes, em custos adicionais. Tendo a Distrim 2 decidido não comprar o ficheiro ao fornecedor, foi necessária outra solução.

As alternativas seriam a medição dos componentes da máquina, respetiva modelação 3D em PowerSHAPE, e construção do ficheiro “*.MD” - “*Machine Design*” - da máquina; ou procurar na biblioteca de arquivos Delcam pela existência de um ficheiro para o modelo em questão ou semelhante.

Após consulta com a Norcam, a primeira alternativa foi excluída: a execução de serviços de engenharia inversa implica custos adicionais, assim como assumir responsabilidade por quaisquer erros de medição e, conseqüentemente, resultantes colisões máquina/peça ou máquina/máquina por não corresponder à realidade.

Sendo assim, a segunda alternativa resultou na utilização de um ficheiro “*.MD” de um modelo semelhante - CTX ALPHA 510 - cuja diferença incide essencialmente na distância máxima entre as buchas principal e secundária. Perante esta alternativa, o cliente foi alertado para o facto de esta solução poder não representar fielmente a sua máquina.

5.5.1.1 Afinação do ficheiro “Machine Design”

Apesar de a Norcam não fornecer ficheiros tridimensionais de máquina como um serviço, tentou-se afinar o ficheiro semelhante de forma a se adequar o máximo possível às necessidades do cliente, ainda que, por falta de tempo, existam problemas por resolver.

Para proceder à afinação do ficheiro “.MD”, é necessário ter presente o conceito de relações “Parent/Child”, ou *Mestre/Escravo*, entre os componentes. Este tipo de relações é responsável por definir o componente cujo movimento está dependente do movimento de outro, e, muitas vezes, mais do que dois componentes estão encadeados numa árvore hierárquica denominada *Mestre/Escravo*, conforme representado na figura 2-12.

Em termos práticos, significa que os movimentos dos grampos da bucha secundária estão dependentes do movimento desta, e que esta, por sua vez, está dependente do movimento do carro, conforme ilustrado na sequência de imagens na figura 2-13.

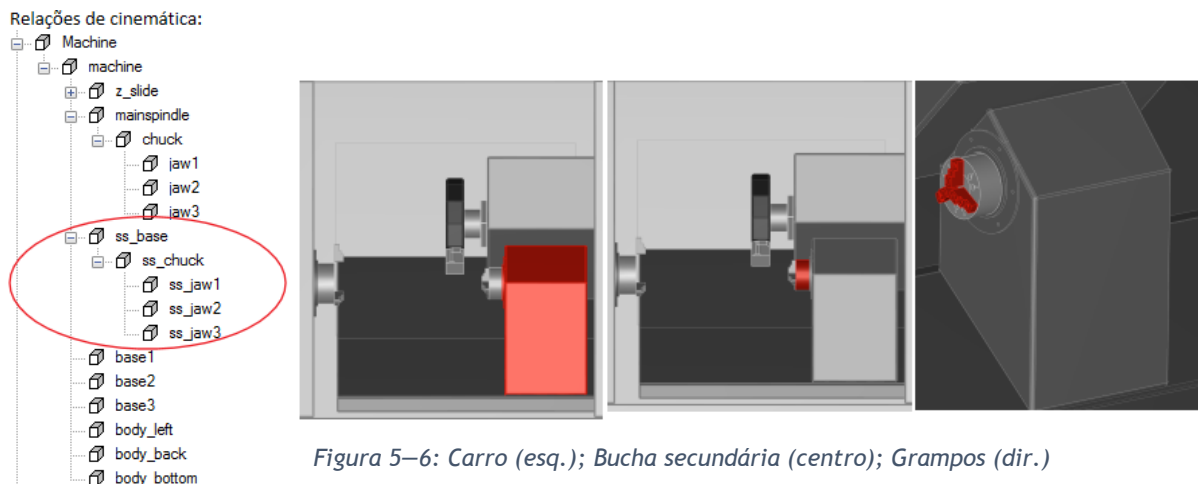


Figura 5—6: Carro (esq.); Bucha secundária (centro); Grampos (dir.)

Figura 5—5: Hierarquia de relações Mestre/Escravo.

Foi então executada uma translação dos referidos componentes para que a distância máxima entre as buchas principal e secundária passasse de 1051.08mm do modelo “CTX ALPHA 510” para os 780mm do modelo “CTX ALPHA 500”. Isto resultou numa necessidade de redefinição das relações *Mestre/Escravo*, assim como uma redefinição dos sistemas de coordenadas e pontos de localização de ferramenta - estas duas últimas ainda por resolver - de forma a garantir que, durante a simulação, as ferramentas surjam no local correto e revolvam em torno do eixo da torreta. A figura 2-14 ilustra o sistema de coordenadas da torreta, cujo ponto-âncora está no local anterior à translação, a verde.

Porém, para motivos de simulação de máquina preliminares, continuou-se a utilizar o ficheiro inicial, como está representado na figura 2-15.

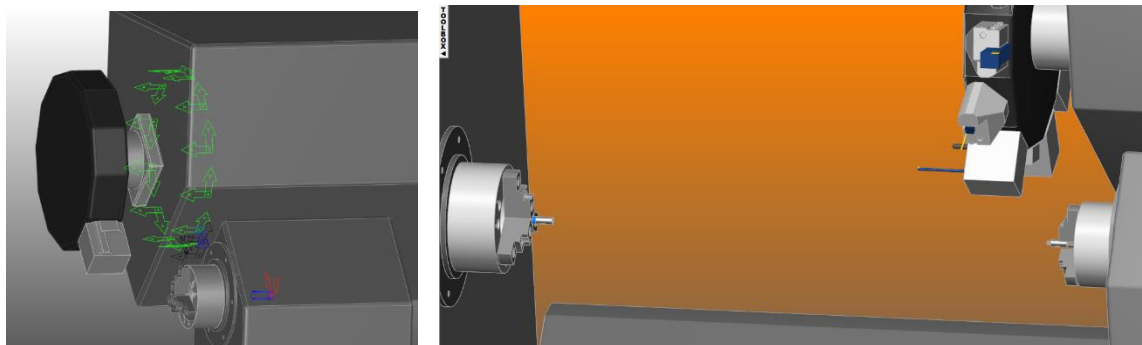


Figura 5–7: Torreta com ponto de âncora de ferramenta descentrado. Figura 5–8: Simulação de Máquina.

Todo o processo de afinação implicou a aprendizagem do modo de funcionamento de ficheiros do tipo “*.MD”, assim como do respetivo editor em FeatureCAM. Não existindo nenhum conhecimento na Norcam e sendo os manuais por parte da DELCAM muito vagos para a resolução deste tipo de afinação, pelo que esta aprendizagem foi feita essencialmente por erro/tentativa, com base em ficheiros *.MD existentes.

5.5.2 Pós-Processador

Antes de prosseguir com o relato do trabalho realizado, é razoável discutir brevemente a situação que se colocou com o pós-processador.

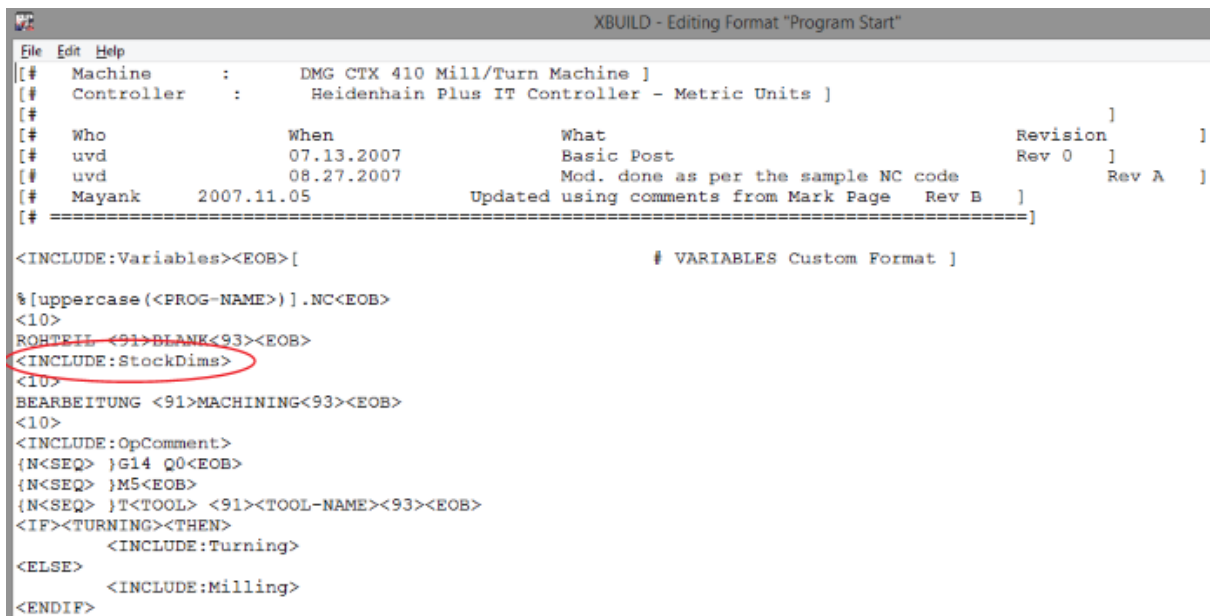
De forma a realizar um pós-processador, é necessária a colaboração do cliente ou técnico da máquina dado que a Norcam, como distribuidora da aplicação CAM, não dispõe da informação relativa a todos controladores existentes. Por essa razão, a indicação, por uma das entidades mencionadas anteriormente, do código - entenda-se os comandos-máquina específicos da máquina, assim como outros parâmetros específicos do controlador - pretendido a ser gerado pelo pós-processador é crucial. Não obstante, nem o fornecedor nem a DISTRIM 2 contribuíram com informação relevante para a criação deste - o que resultou na necessidade da consulta de ambos os manuais do controlador Heidenhain e da máquina DMG, com 760 páginas e cerca de 900 páginas, respetivamente, assim como a biblioteca de termos de programação do XBUILD para tornar possível a edição do pós-processador, com 115 páginas.

De uma forma análoga ao ficheiro de máquina, a busca pelo pós-processador passou pela biblioteca da DELCAM. Assim, encontrou-se um pós-processador cuja descrição indicava ter sido criado para o modelo do ficheiro máquina e para um controlador Heidenhain, que serviu de base para a adaptação ao caso da DISTRIM 2.

5.5.2.1 Ajuste do Pós-Processador

De forma a dar início ao processo de ajuste do pós-processador, requisitou-se o código NC atualmente utilizado para a maquinagem no torno/fresa da peça anteriormente programada em FeatureCAM, de forma a ser possível uma comparação entre esse código NC e o gerado na aplicação CAM.

A primeira incoerência entre os códigos foi detetada nas primeiras linhas, e consistiu na definição do bloco de material. O controlador da máquina não interpretava o código gerado pelo pós-processador, pelo que foi necessário recorrer ao XBUILD e alterar o parâmetro correspondente à categoria “Início do Programa” - “*Program Start*” - do programa a ser gerado. Uma breve análise permitiu ver que o parâmetro responsável pelas dimensões do bloco, é, na verdade, uma categoria personalizada pelo utilizador - denominada *StockDims* - conforme observável na 2-16, e por isso a edição teve lugar nessa categoria.

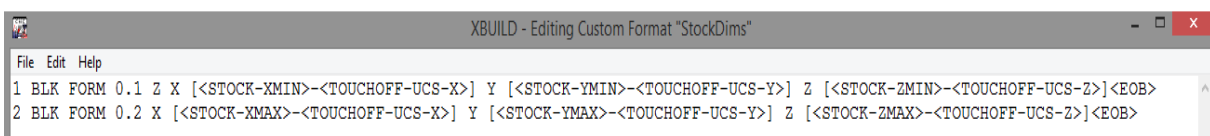


```

XBUILD - Editing Format "Program Start"
File Edit Help
[Machine : DMG CTX 410 Mill/Turn Machine ]
[Controller : Heidenhain Plus IT Controller - Metric Units ]
[Who When What Revision ]
[uvd 07.13.2007 Basic Post Rev 0 ]
[uvd 08.27.2007 Mod. done as per the sample NC code Rev A ]
[Mayank 2007.11.05 Updated using comments from Mark Page Rev B ]
[=====]
<INCLUDE:Variables><EOB>[ # VARIABLES Custom Format ]
%[uppercase(<PROG-NAME>)] .NC<EOB>
<10>
ROHTEIL <91>BLANK<93><EOB>
<INCLUDE:StockDims>
<10>
BEARBEITUNG <91>MACHINING<93><EOB>
<10>
<INCLUDE:OpComment>
{N<SEQ> }G14 Q0<EOB>
{N<SEQ> }M5<EOB>
{N<SEQ> }T<TOOL> <91><TOOL-NAME><93><EOB>
<IF><TURNING><THEN>
    <INCLUDE:Turning>
<ELSE>
    <INCLUDE:Milling>
<ENDIF>
  
```

Figura 5–9: Código do “Início do Programa”, aberto na aplicação XBUILD. A vermelho, a categoria que necessita de alteração.

O conteúdo inicial está demonstrado na figura 2-17.



```

XBUILD - Editing Custom Format "StockDims"
File Edit Help
1 BLK FORM 0.1 Z X [<STOCK-XMIN>-<TOUCHOFF-UCS-X>] Y [<STOCK-YMIN>-<TOUCHOFF-UCS-Y>] Z [<STOCK-ZMIN>-<TOUCHOFF-UCS-Z>]<EOB>
2 BLK FORM 0.2 X [<STOCK-XMAX>-<TOUCHOFF-UCS-X>] Y [<STOCK-YMAX>-<TOUCHOFF-UCS-Y>] Z [<STOCK-ZMAX>-<TOUCHOFF-UCS-Z>]<EOB>
  
```

Figura 5–10: Conteúdo inicial da categoria “STOCKDIMS”.

Através da consulta do manual do controlador Heidenhain (16), determinou-se que o código necessário para a definição de um bloco cilíndrico é dado por **G20**, e cuja sintaxe é a que está representada na 2-18 - que também ilustra o conteúdo interpretável pela máquina -

onde as dimensões são dadas por “X” “Y” e “Z”, e o caractere “I” define, se existir, o diâmetro interior do cilindro. Com a consulta da biblioteca de termos de programação do XBUILD (7), foi possível programar o cálculo das dimensões (subtração da coordenada final pela coordenada inicial).

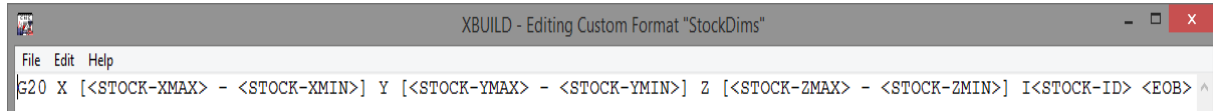


Figura 5–11: Conteúdo correto, na categoria “STOCKDIMS”.

Com esta edição do pós-processador, conseguiu-se, com êxito, o reconhecimento e desenho das dimensões do bloco no modo de simulação do controlador da máquina.

Houve, no entanto, uma série de adversidades encontradas que, de momento, não apresentaram resolução, como será explicado de seguida, e como tal não permitiram testar fisicamente a simulação obtida. Isto deve-se ao facto de a Delcam não ter desenvolvido qualquer pós-processador para esta máquina e controlador em concreto, e, como já foi referido, não existir mais nenhuma fonte de informação respeitante ao desenvolvimento e criação deste tipo de pós-processador.

5.5.2.2 Conteúdos Vazios

A comparação entre os códigos NC - FeatureCAM e o programado na Distrim 2 - assim como uma inspeção, através do XBUILD, do pós-processador, permitiu detetar a ausência de conteúdo na vasta maioria das categorias responsáveis pela geração do código de operações chave na maquinagem de torno. Entre essas categorias encontram-se todas a que dizem respeito às operações de transferência, e algumas categorias respeitantes a movimentações: operações de abrir e fechar grampos; sincronização das buchas; e mecanismo de recolha de peças maquinadas - “Part Catcher”. Sendo assim, apesar de na simulação em FeatureCAM todas estas operações serem visíveis, no código NC gerado não existe nenhuma correspondência com estas funções, não ocorrendo transferência da bucha principal para a secundária após sangramento.

Agudizando a situação, o controlador não reconhece o “zero” da bucha secundária, pelo que, não obstante da existência ou não de transferência, as operações da bucha secundária são simuladas tendo por referência o “zero” da bucha principal - originando resultados indesejáveis - pelo que impossibilita o teste físico na máquina até os conteúdos do pós-processador, anteriormente referidos, sejam totalmente programados.

Contudo, apesar dos constrangimentos mencionados, o pós-processador permite o funcionamento correto do torno/fresa na bucha principal.

5.5.2.3 Contacto com a DELCAM

De forma a economizar tempo, e assim promover a mais rápida resolução das adversidades encontradas, foi estabelecido contacto com a equipa de suporte internacional da DELCAM Inglaterra - procedimento recomendado quando é necessária a criação (e não apenas afinação ligeira) de um pós-processador.

O pedido de suporte consistiu na explicação da situação, fornecimento dos ficheiros do pós-processador, de máquina “.MD”, manual do controlador (versão inglesa), e ainda a elaboração de um documento contendo todos os comandos-máquina traduzidos diretamente do manual da máquina.

5.6 Considerações Finais

Enquanto é aguardada uma resposta da DELCAM, será continuada em paralelo a investigação e o desenvolvimento do pós-processador, de forma a poder dar uma resposta satisfatória ao cliente. Em paralelo, estão a ser feitos esforços em contactar o fabricante da máquina, para que este contribua também com o seu conhecimento.

6 Conclusão

Uma vez terminado o estágio curricular realizado na Norcam, é pertinente a reflexão que se segue.

O percurso académico seguido no Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, com destaque para as unidades curriculares Computação e Programação, Desenho Técnico, Desenho Assistido por Computador, Tecnologias de Materiais Metálicos e Engenharia Assistida por Computador; permitiu a consolidação de um saber fundamental para tornar possível encarar um estágio como o descrito no presente relatório.

A realização do estudo comparativo PowerMILL vs. FeatureCAM resultou na forte familiarização com as aplicações CAM, e consequentemente, numa maior destreza de programação e entendimento do tipo de tarefa que cada uma deverá ser destinada.

As oportunidades que surgiram de acompanhar elementos da Norcam em trabalho de campo a determinados clientes mostrou-se tanto reveladora como elucidativa do tipo de trabalho que é realizado na área do CAD/CAM. Aliada a esta experiência, a formação de conteúdos avançados de FeatureCAM foi fundamentalmente enriquecedora das minhas capacidades de programação nos módulos de torno e torno/fresa e constituiu um passo essencial para a etapa seguinte - a implementação de um torno/fresa no grupo VANGEST.

Durante o processo de implementação da máquina torno/fresa pertencente ao grupo VANGEST, foi reunido e adquirido um conjunto de valências essenciais para cimentar a transição do percurso académico para o percurso profissional nesta área da engenharia. Destacam-se a perceção e realização de tarefas em ambiente industrial; a aquisição de competências na edição de pós-processadores, a aquisição de competências na edição e elaboração, em FeatureCAM, de ficheiros de máquina para simulação - *Machine Design* - essenciais para o processo em questão; assim como a noção de que por vezes, no mundo de trabalho, a resolução de um problema passa também pela mão de entidades terceiras - neste caso a DELCAM Inglaterra, que tem outros clientes, e, por isso, prioridades diferentes das necessárias para a resolução atempada do problema em questão.

Para encerrar a reflexão, deve ser mencionado que o estágio curricular revelou-se frutífero pelas razões acima mencionadas, e foi concluído com sucesso dado que resultou numa proposta de emprego por parte da Norcam, pelo que, futuramente, darei continuidade ao trabalho de implementação discutido no relatório.

7 Bibliografia

1. DELCAM PLC. *FeatureCAM 3D Training Course*. Birmingham, Reino Unido : s.n., 2013.
2. —. *Introduction to FeatureRECOGNITION*. Birmingham, Reino Unido : s.n., 2013.
3. —. *PowerMILL Training Course*. Birmingham, Reino Unido : s.n., 2012.
4. Graça, Miguel. *Aprendizagem em Programação de Centros de Maquinagem a 3+2 e 5 Eixos Contínuos com Recurso a Aplicações CAD/CAM*. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
5. DELCAM PLC. *Introduction to Solid Modelling*. Birmingham, Reino Unido : s.n., 2014.
6. ETMA. ETMA METAL PARTS - 10 Integrated Processes. *ETMA METAL PARTS*. [Online] [Citação: 29 de 1 de 2015.] <http://www.etmametalparts.com/>.
7. DELCAM LTD. *XBUILD Reference Manual*. [Suporte digital] 2014.
8. Polar Engineering and Consulting. WinWrap Basic Language. *WinWrap Basic*. [Online] [Citação: 28 de Janeiro de 2015.] <http://www.winwrap.com/>.
9. Relvas, Carlos. *Controlo Numérico Computorizado: Conceitos Fundamentais*. 3ª edição. Porto : Publindústria, Edições Técnicas, 2012. 978-972-8953-98-0.
10. *Process Modeling of Turn-Milling Using Analytical Approach*. Karaguzel, Umut, Bakkal, Mustafa e Budak, Erhan. s.l. : ELSEVIER, 2012, Procedia CIRP, Vol. 4, pp. 131-139. 22128271.
11. *Analytical Modeling of Turn-milling Process Geometry, Kinematics and Mechanics*. Karagüzel, Umut, et al. s.l. : ELSEVIER, Dezembro de 2014, International Journal of Machine Tools and Manufacture. 08906955.
12. DELCAM PLC. *FeatureTURN/MILL Training Course*. Birmingham, Reino Unido : s.n., 2013.
13. —. *FeatureTURN Training Course*. Birmingham, Reino Unido : s.n., 2005.
14. —. *FeatureCAM 5-axis Training Course*. Birmingham, Reino Unido : s.n., 2013.
15. VANGEST Group. A Empresa. *Distrim2*. [Online] [Citação: 27 de 1 de 2015.] <http://www.distrim2.pt/>.
16. HEIDENHAIN. *CNC Pilot 4290: Manual de Utilizador*. Traunreut, Alemanha : s.n., 2010.
17. *Investigating Eccentricity Effects in Turn-milling Operations*. Uysal, Emre, et al. s.l. : ELSEVIER, 2014, Procedia CIRP, Vol. 14, pp. 176-181. 22128271.

8 Anexo 1

2.1.5.3 Qualidade dos Percursos.

Desbaste

Passo lateral:

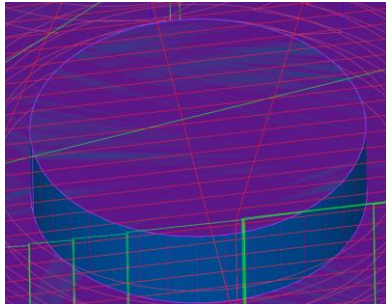


Figura A - 2: Passo lateral direto/linear, a cor de laranja.

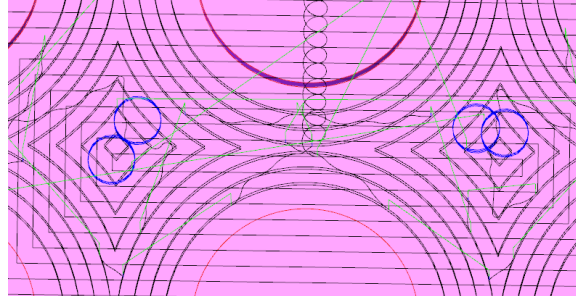


Figura A - 1: Passo lateral em arco, no centro da figura.

- Entradas/Saídas

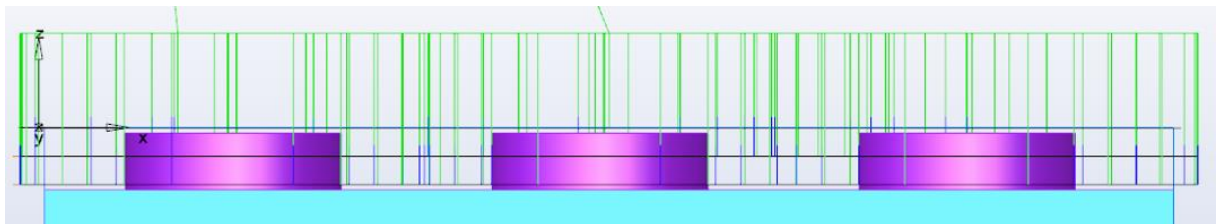


Figura A - 3: Entradas/Saídas em Mergulho.

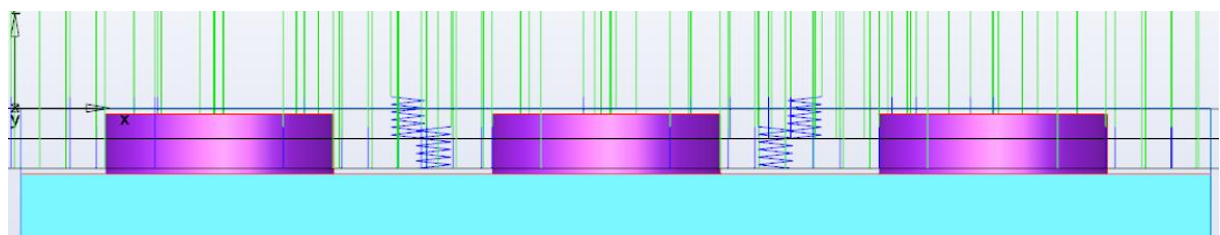


Figura A - 5: Entradas/Saídas em Rampa Linear.

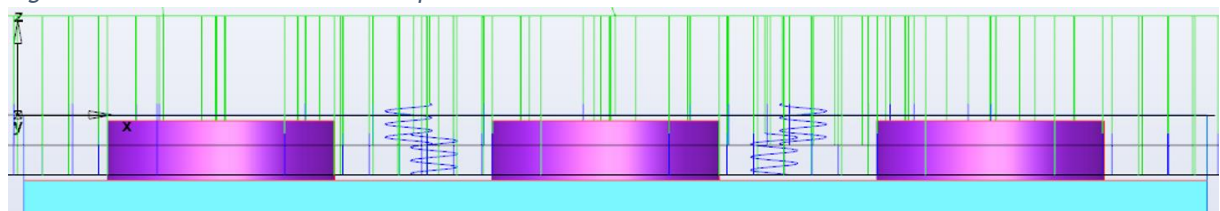


Figura A - 4: Entradas/Saídas em Rampa Helicoidal.

Acabamento

Passo lateral:

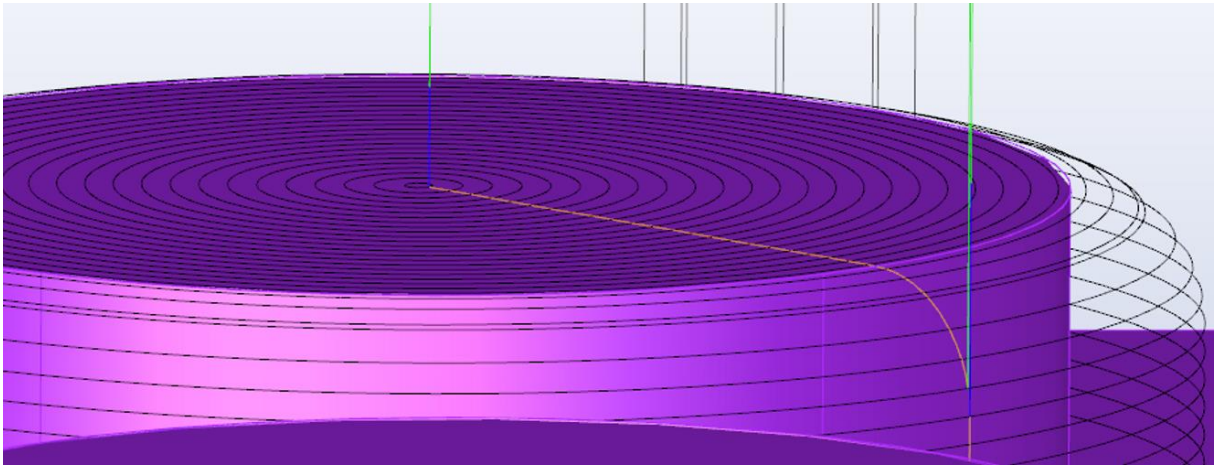


Figura A - 6: Passo Lateral Linear.

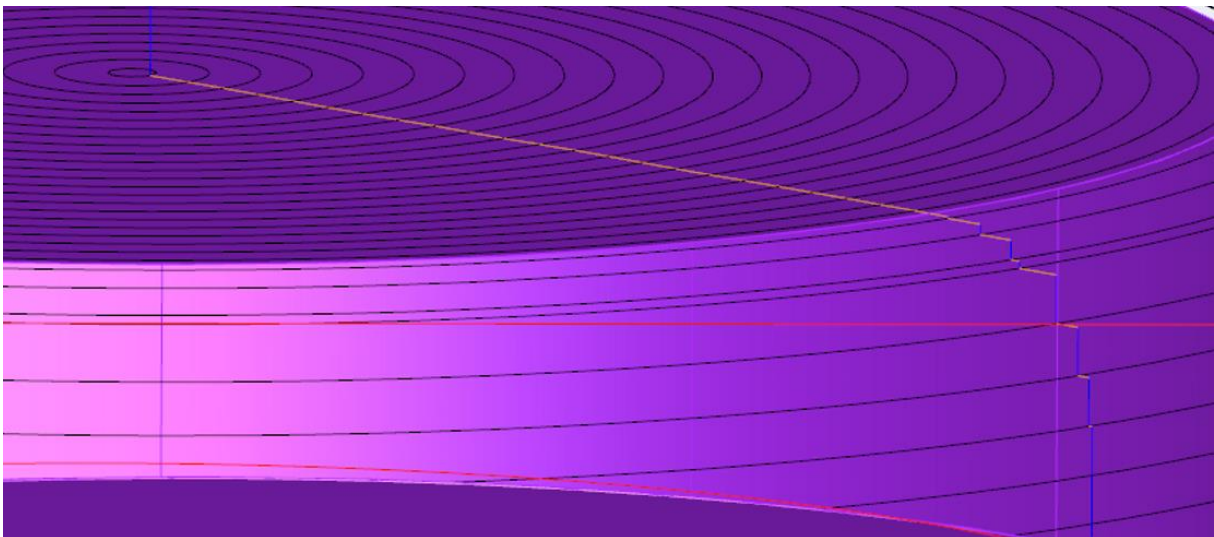


Figura A - 7: Entradas/Saídas em Escadaria.

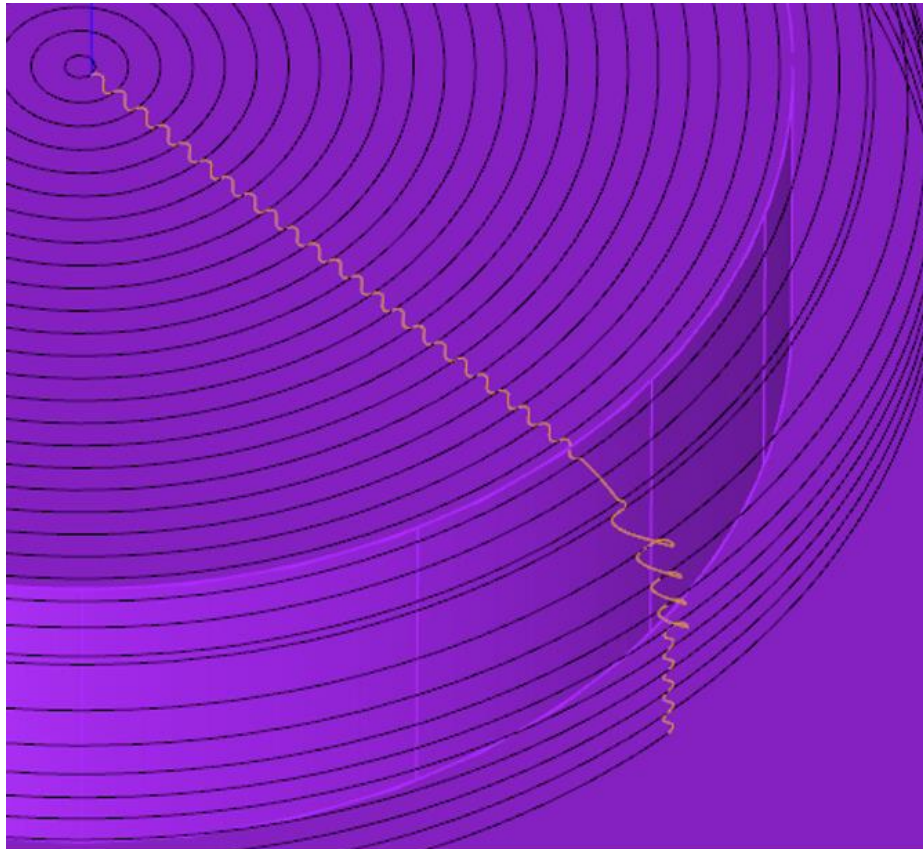


Figura A - 8: Entradas/Saídas em Loop.

Entradas/Saídas:

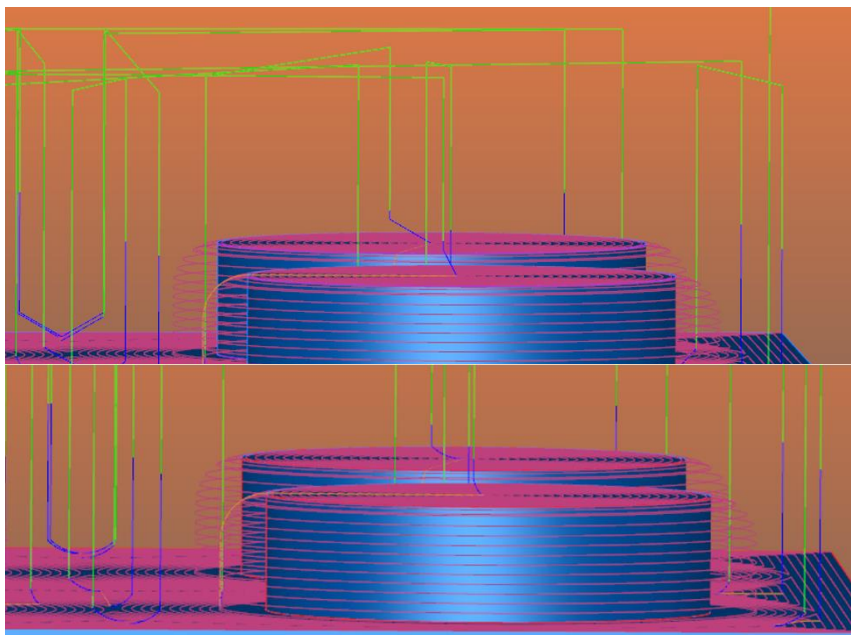


Figura A - 9: Entradas/Saídas em todos os mergulhos/retrações. Em cima, Linear. Em baixo, em Arco.

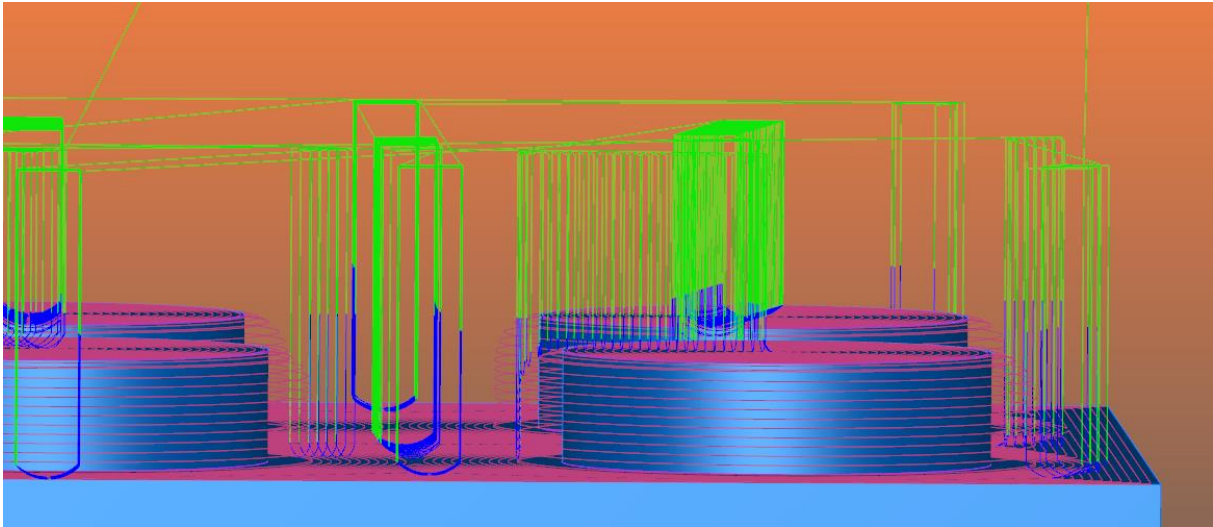


Figura A - 10: Entradas/Saídas em todos os passos laterais, mergulhos e retrações. Em arco.

Opções PowerMILL:

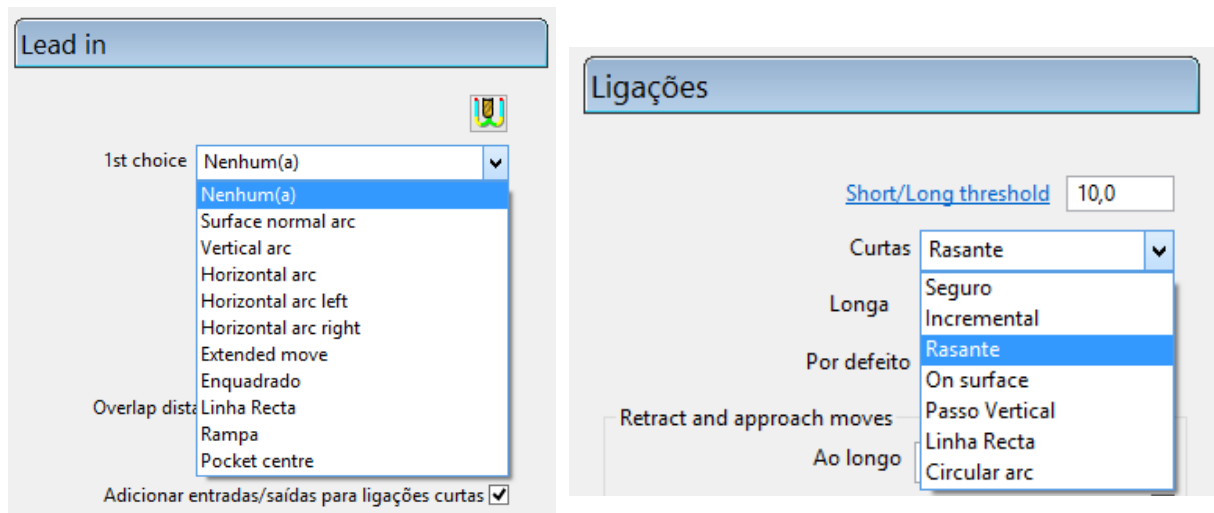


Figura A - 11: Menus PowerMILL. Tipo de Entradas e Saídas (esq.) e Tipo de ligações e movimentos rápidos (dir.)

2.1.5.4 Zonas de Excesso de Carga

FeatureCAM

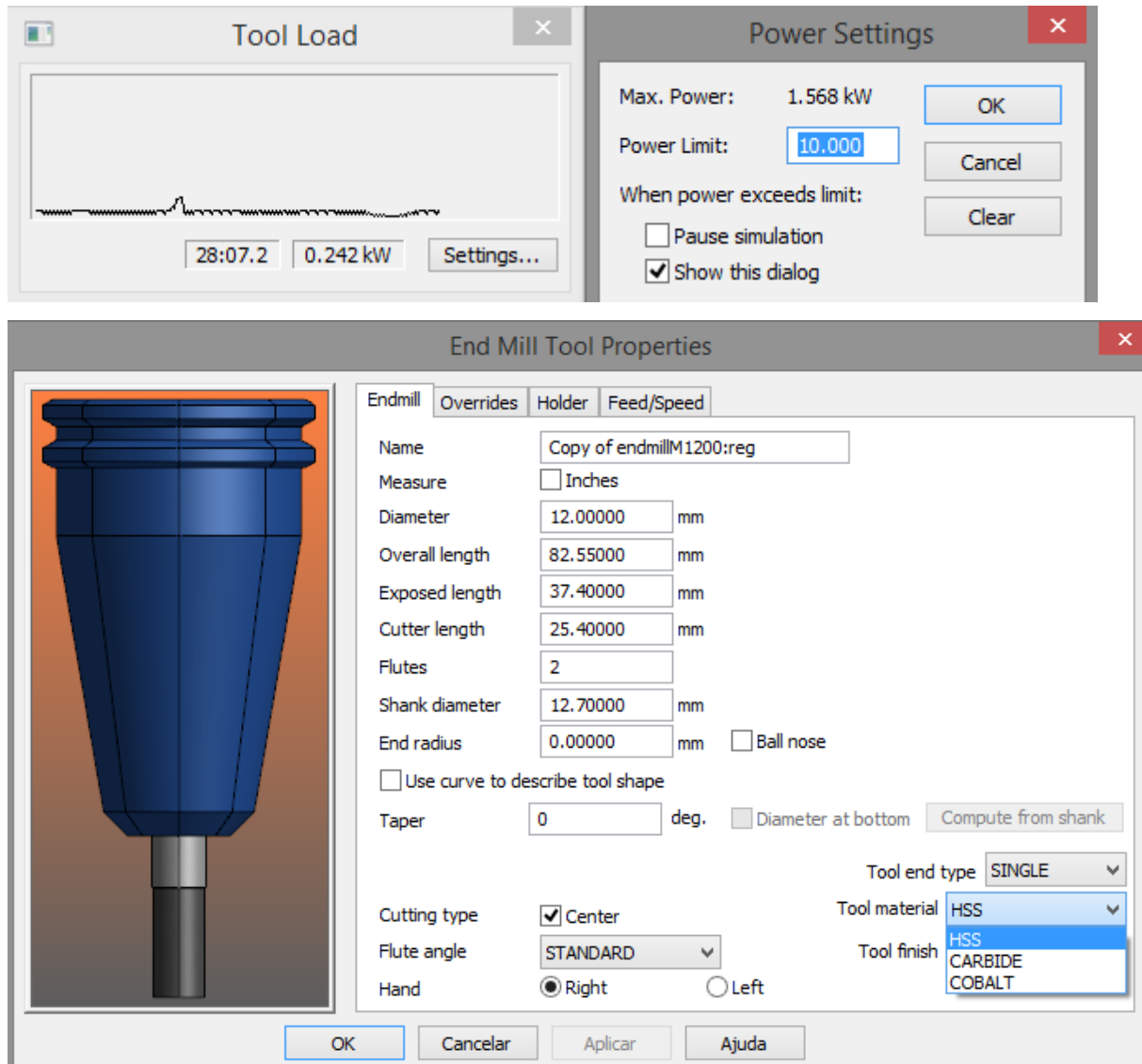


Figura A - 12: Cima (esq.) - Gráfico de esforço da ferramenta; Cima (dir.) - configuração da janela de medição de esforço; Baixo - Indicação do tipo de material no menu da ferramenta.

Opções de movimentos rápidos

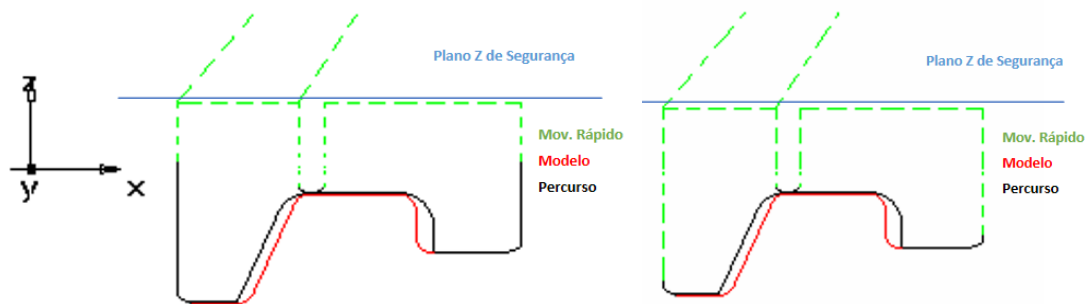


Figura A - 13: Esquemas representativos do plano Z de segurança, e conceitos de retração: Distância de segurança (esq.) e Distância Relativa (dir.).

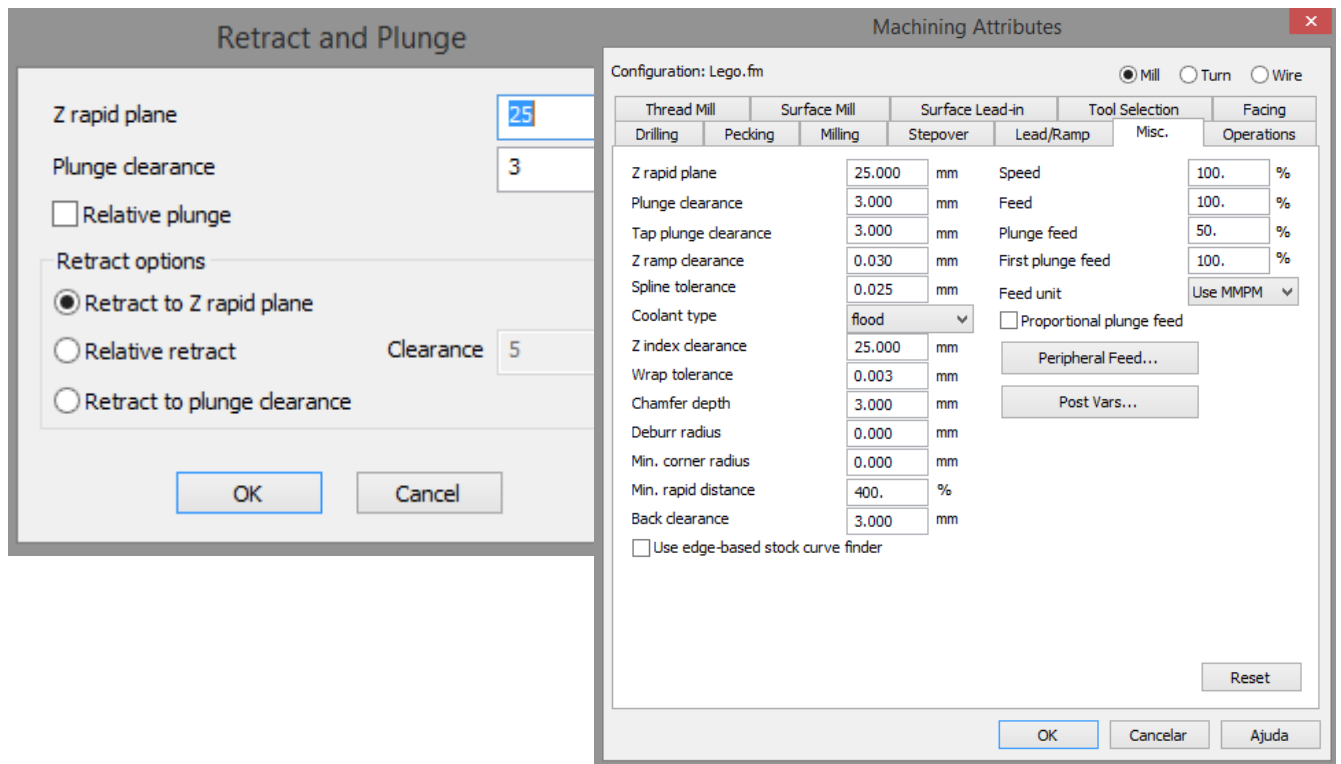


Figura A - 14: Menus de configuração das distâncias dos movimentos rápidos.

Opções de retração

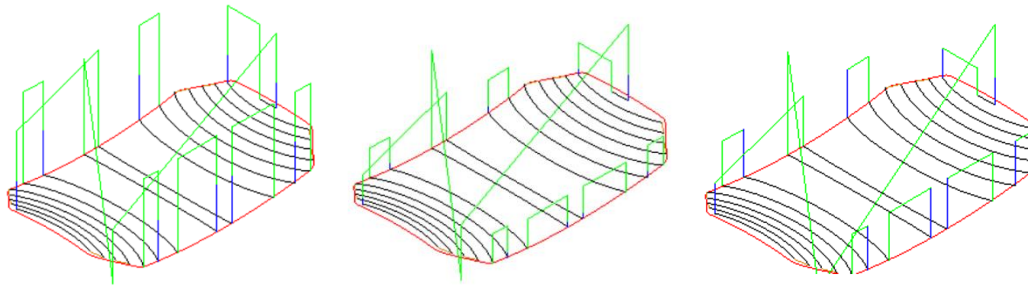


Figura A - 15: Retração para o plano Z de segurança (esq.) ; Retração relativa (centro) ; Retração para a distância de mergulho (dir.)

2.1.5.7

Modelos Testados

Powerdrill

Vistas:

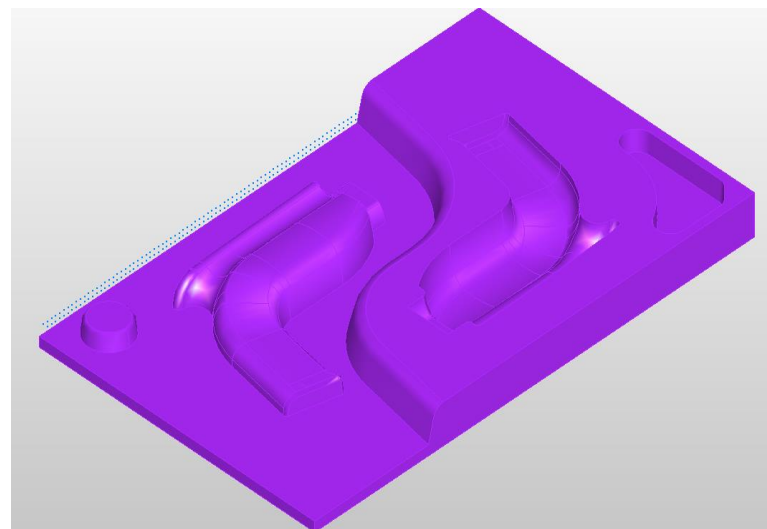
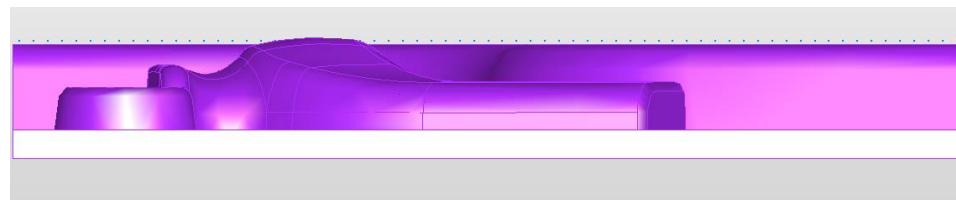
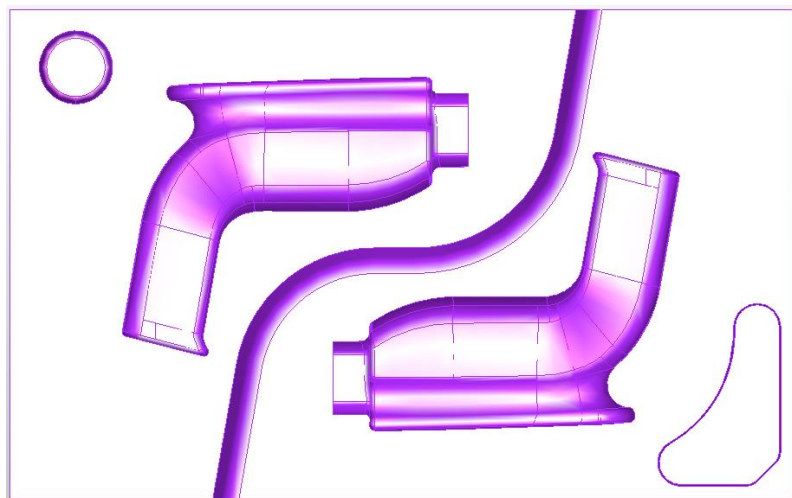


Figura A - 16: Vistas do modelo PowerDrill. Topo, Laterais, Isométrica.

Programação FeatureCAM

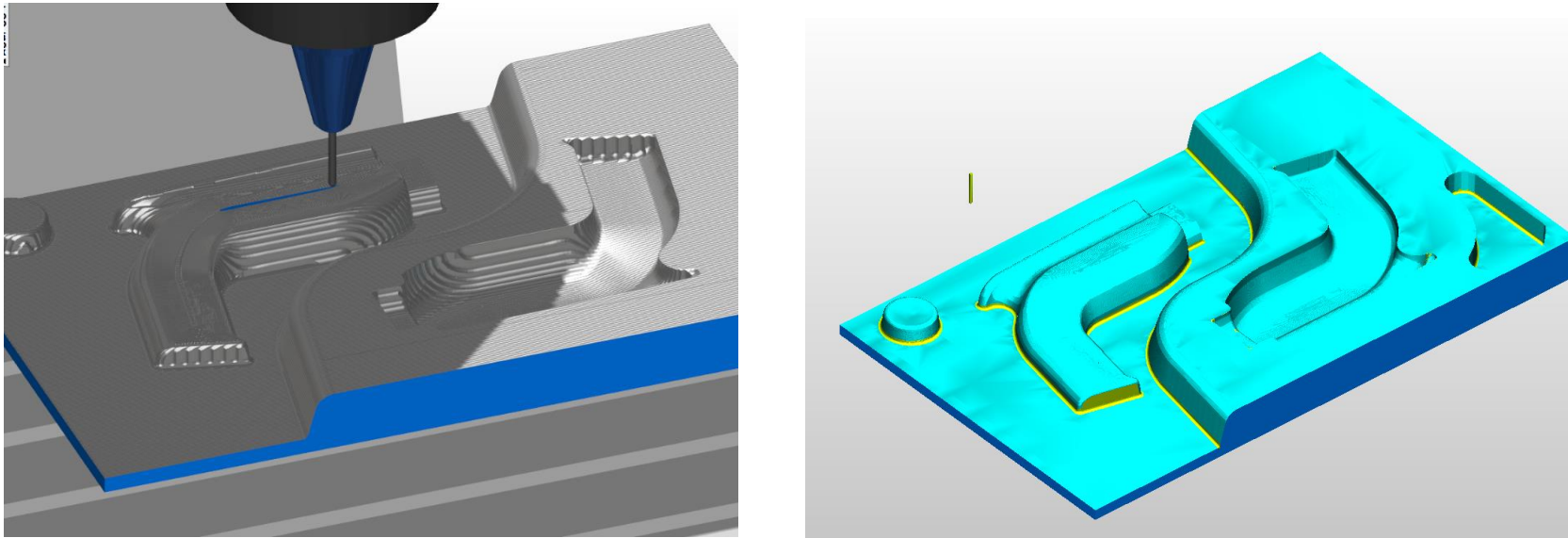


Figura A - 17: Simulação de máquina (esq.) e resultado final, com cores de ferramenta (dir.)

Programação PowerMILL



Figura A - 18: Resultados da simulação da maquinação do modelo em PowerMILL.

Cone c/bolsas

Programação FeatureCAM

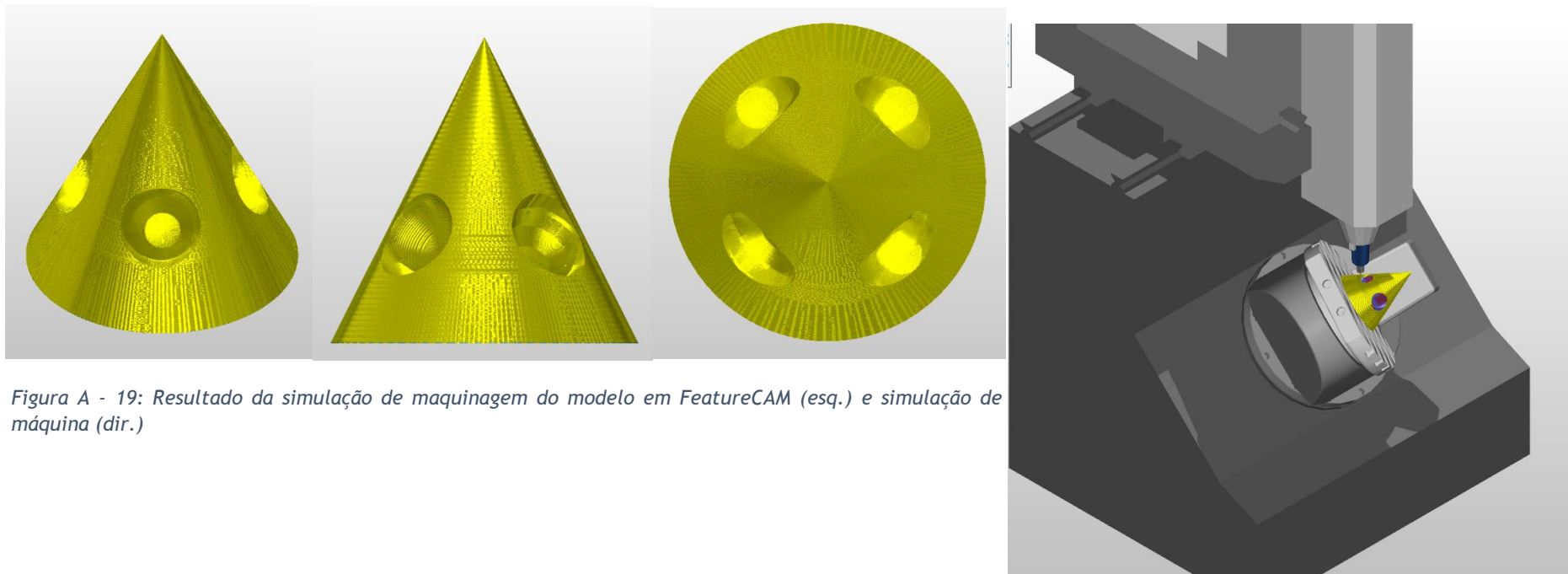


Figura A - 19: Resultado da simulação de maquinação do modelo em FeatureCAM (esq.) e simulação de máquina (dir.)

Programação PowerMILL

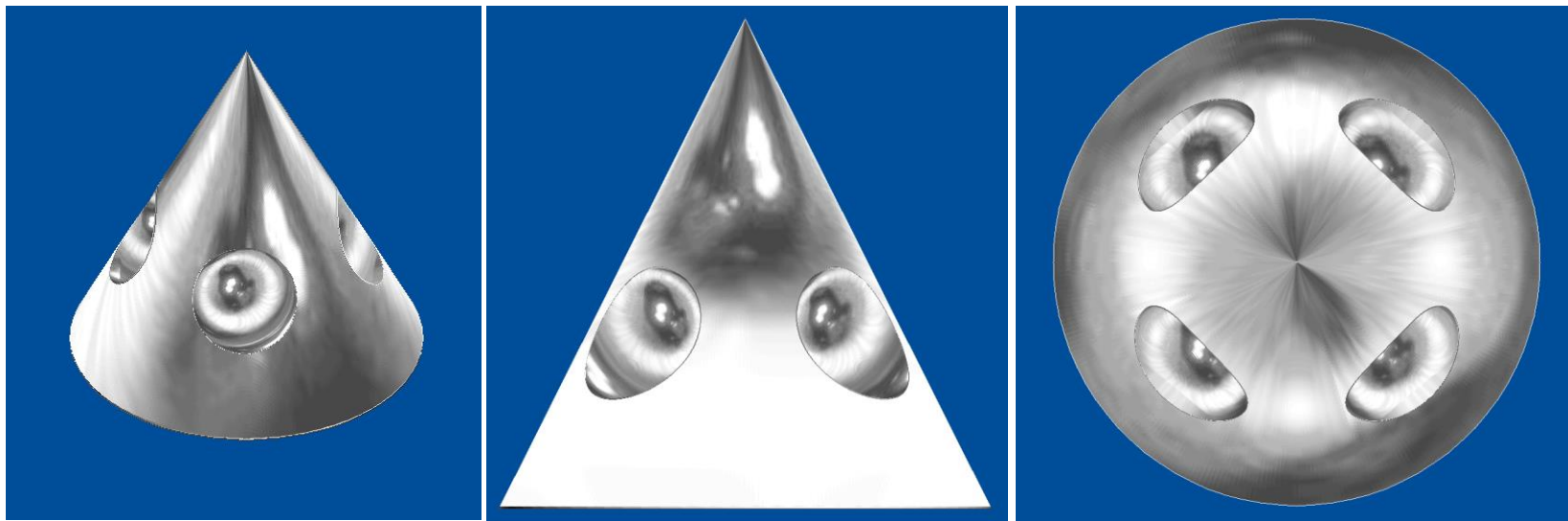


Figura A - 20: Resultado da Simulação do Modelo em PowerMILL.

Handle

Programação FeatureCAM

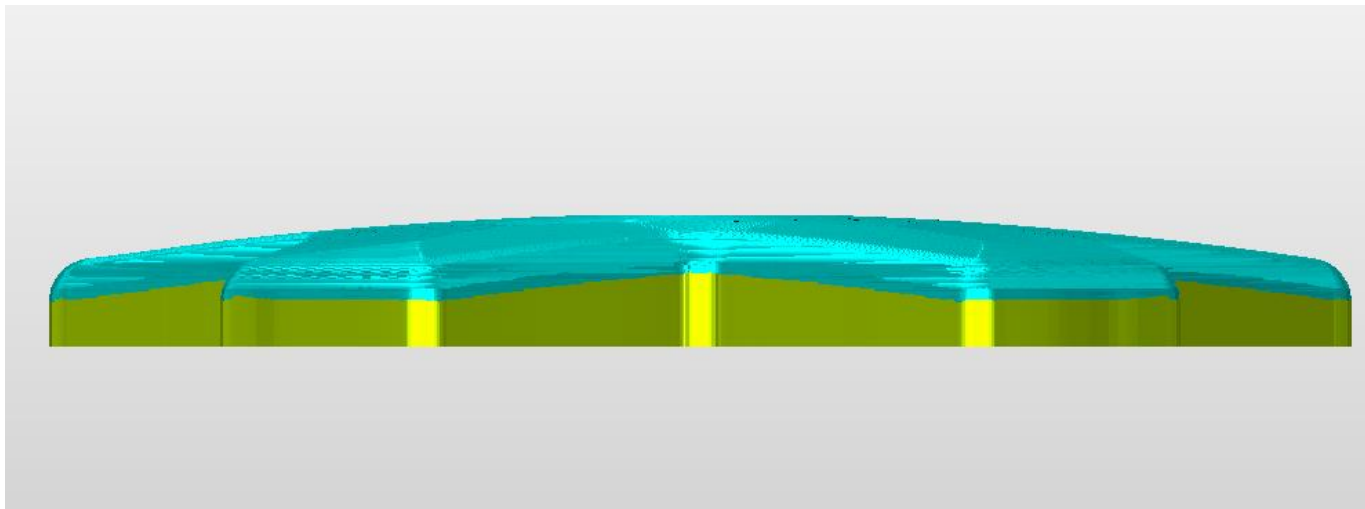
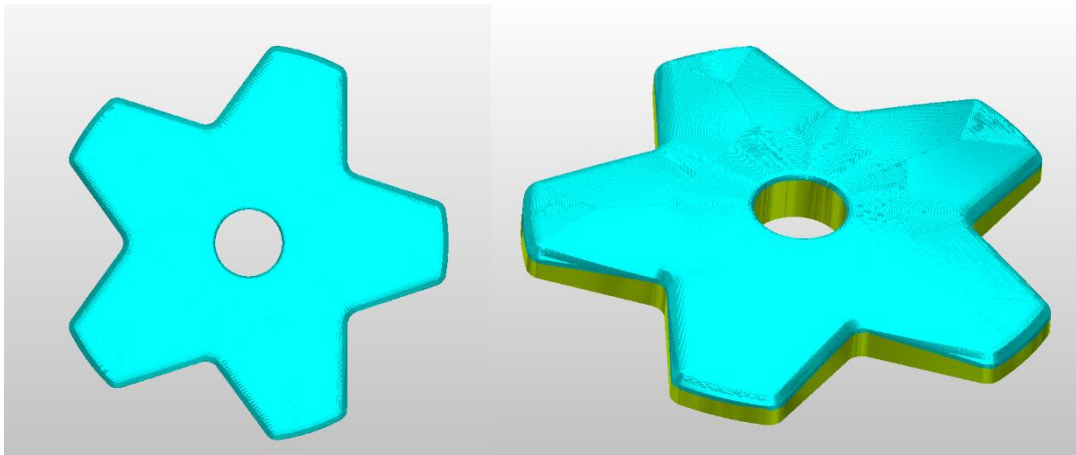


Figura A - 21: Resultado da Simulação do modelo em FeatureCAM.

Programação PowerMILL

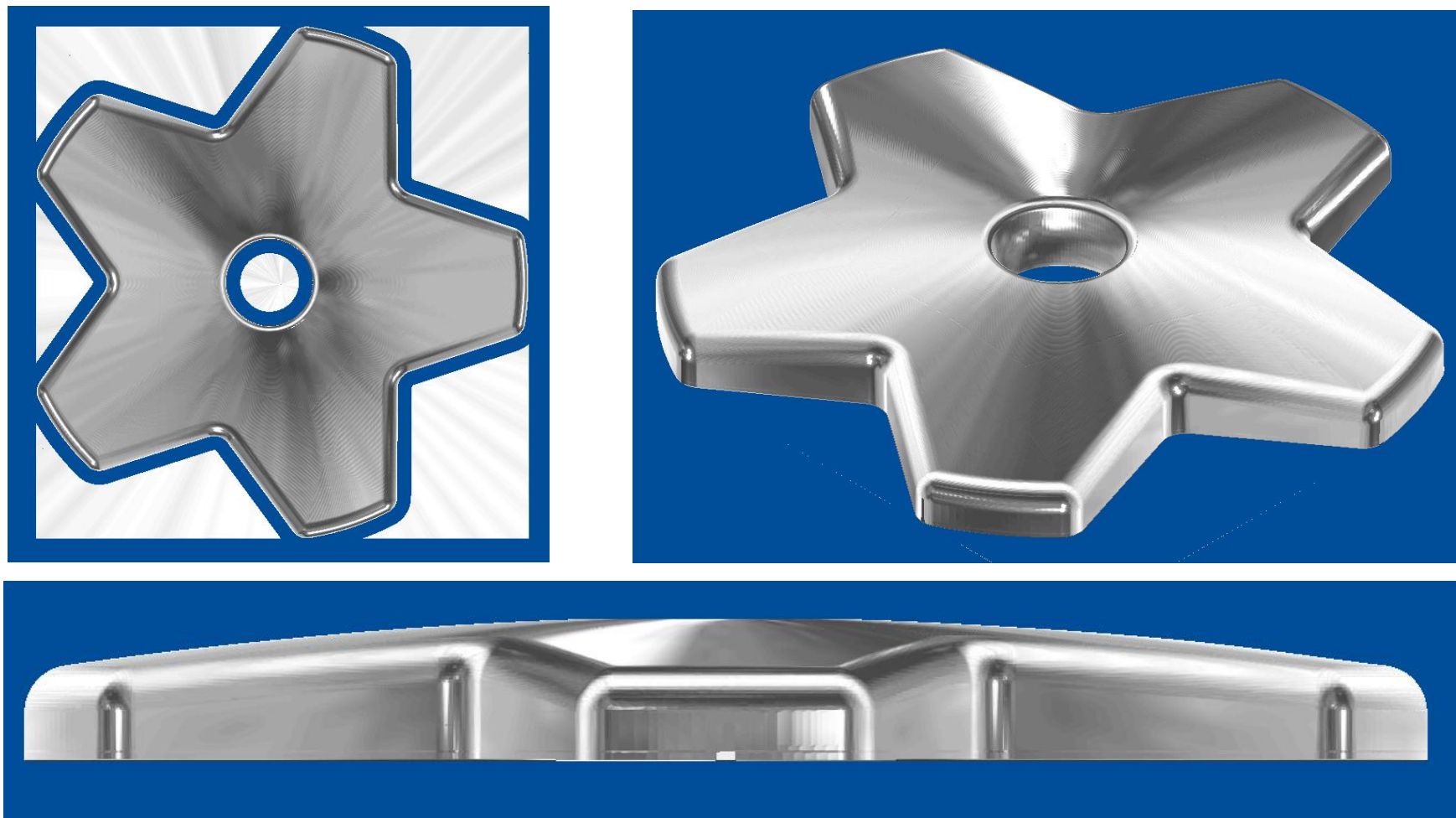


Figura A - 22: Resultado da Simulação de Maquinagem do Modelo em PowerMILL. Erro gráfico de ViewMILL (esq. superior).

BurnTool

Programação FeatureCAM - Erros de Leitura do Modelo

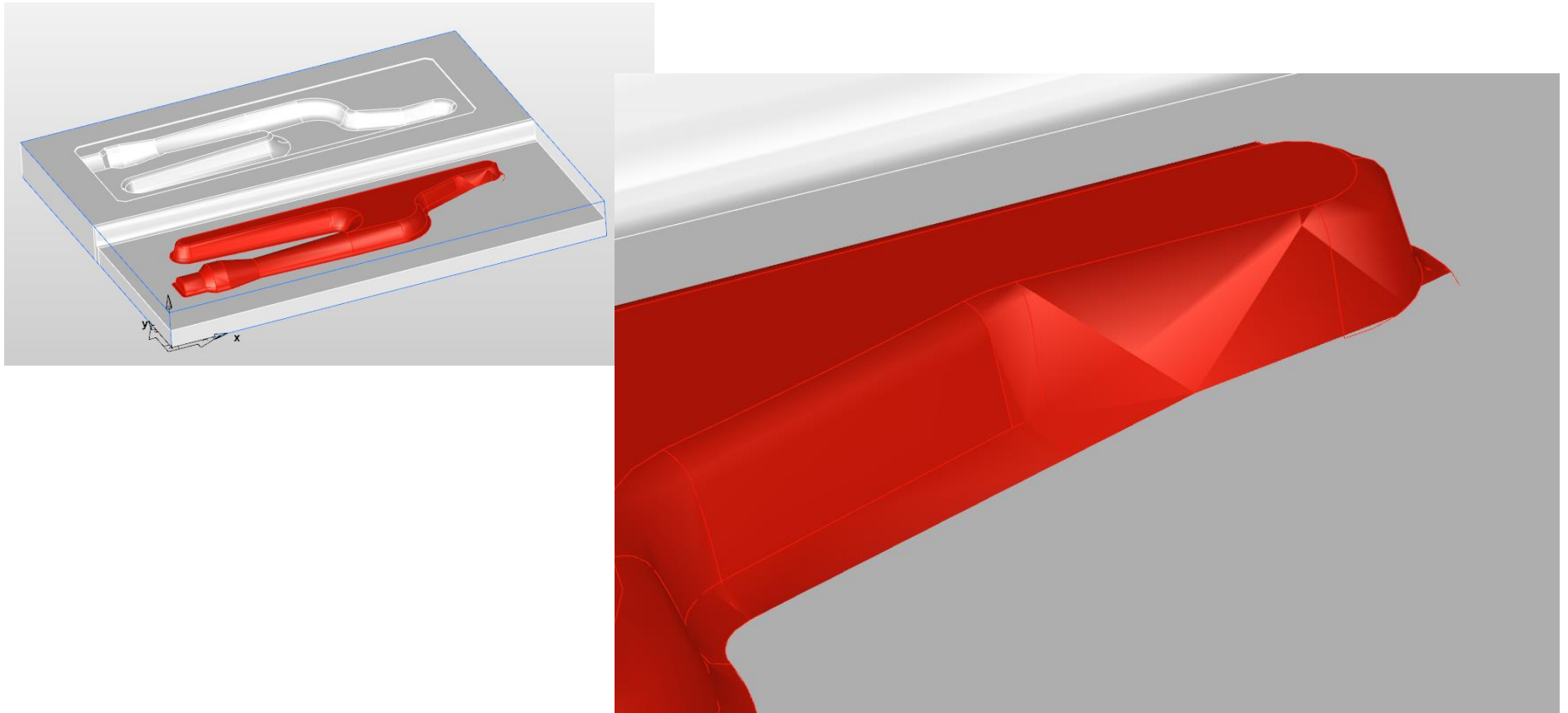


Figura A - 23: Erros de Leitura da superfície do modelo BurnTool.

Programação FeatureCAM

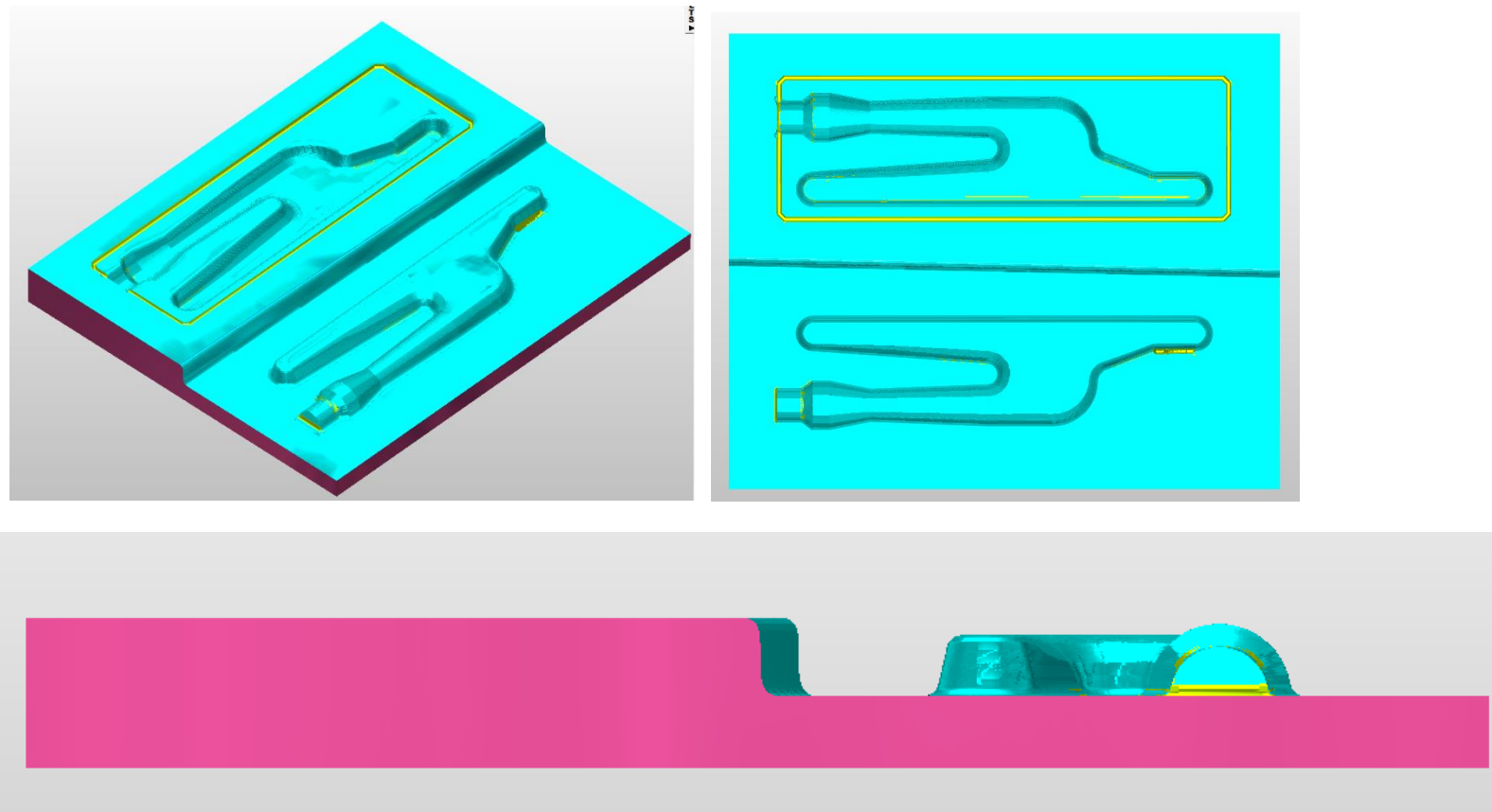


Figura A - 24: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em FeatureCAM.

Programação PowerMILL

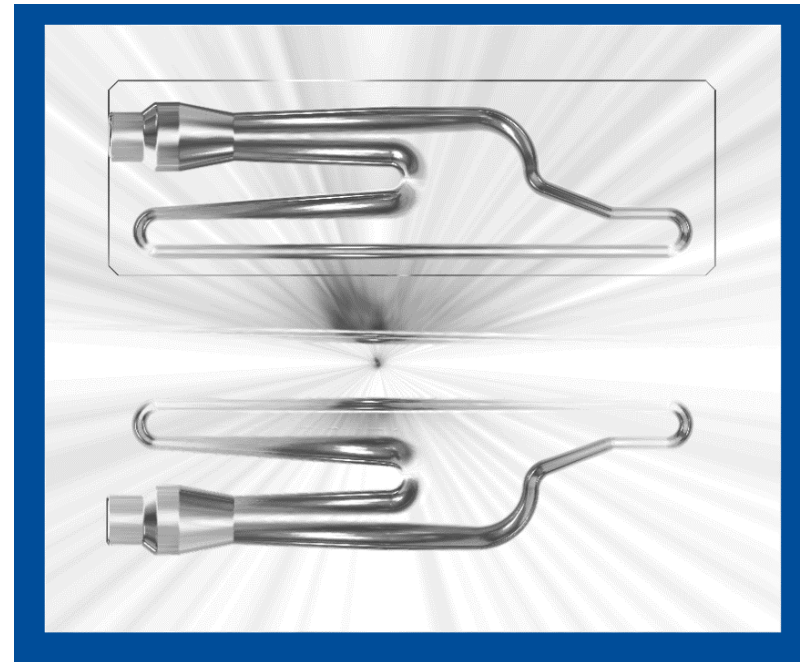
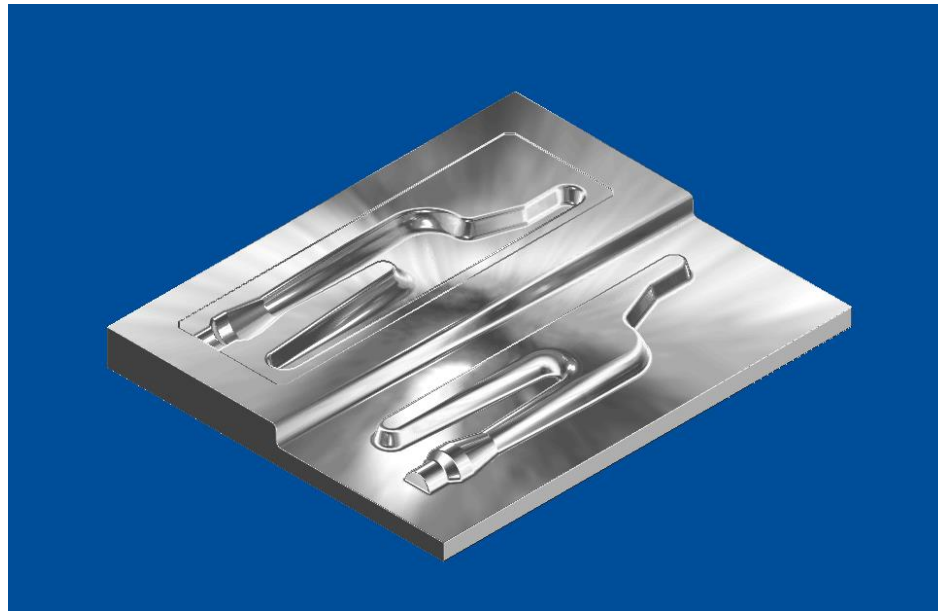


Figura A - 25: Resultado da Simulação de Maquinagem do Modelo em PowerMILL.

Peça_1

Programação FeatureCAM

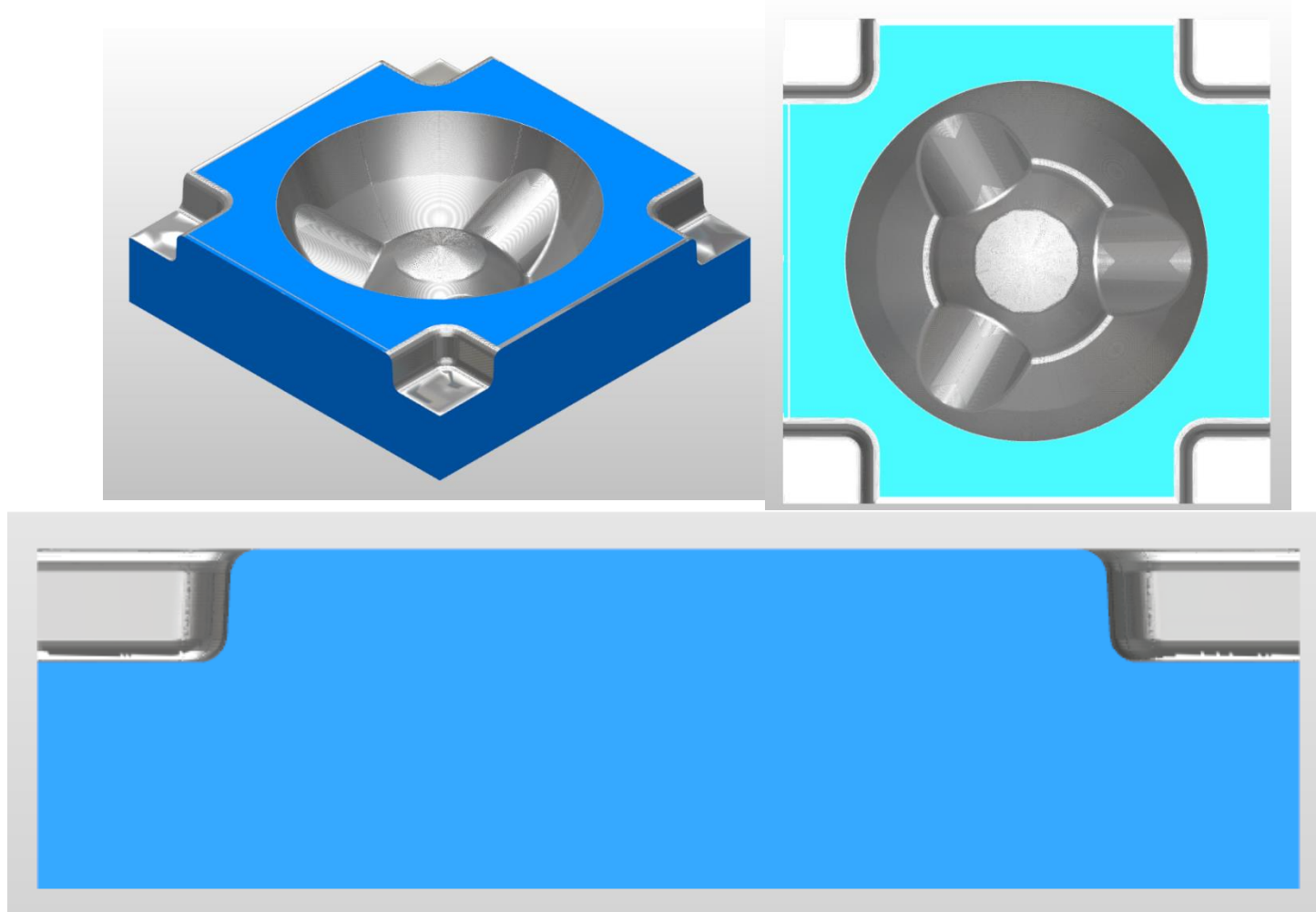


Figura A - 26: Resultado da Simulação de Maquinagem do Modelo em FeatureCAM.

Programação PowerMILL

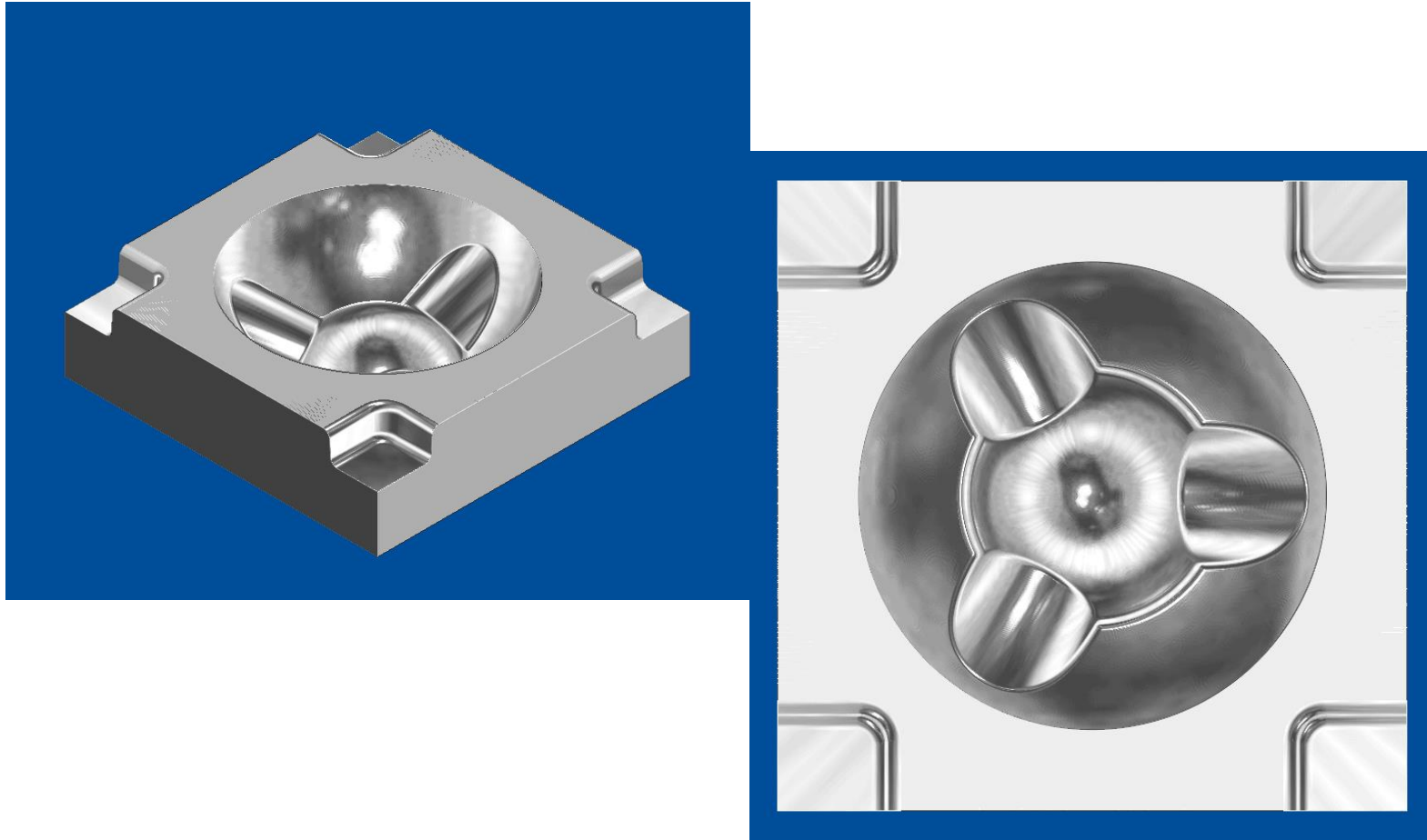


Figura A - 27: Resultado da Simulação da Maquiagem do Modelo em PowerMILL.

Peça_2

Programação FeatureCAM

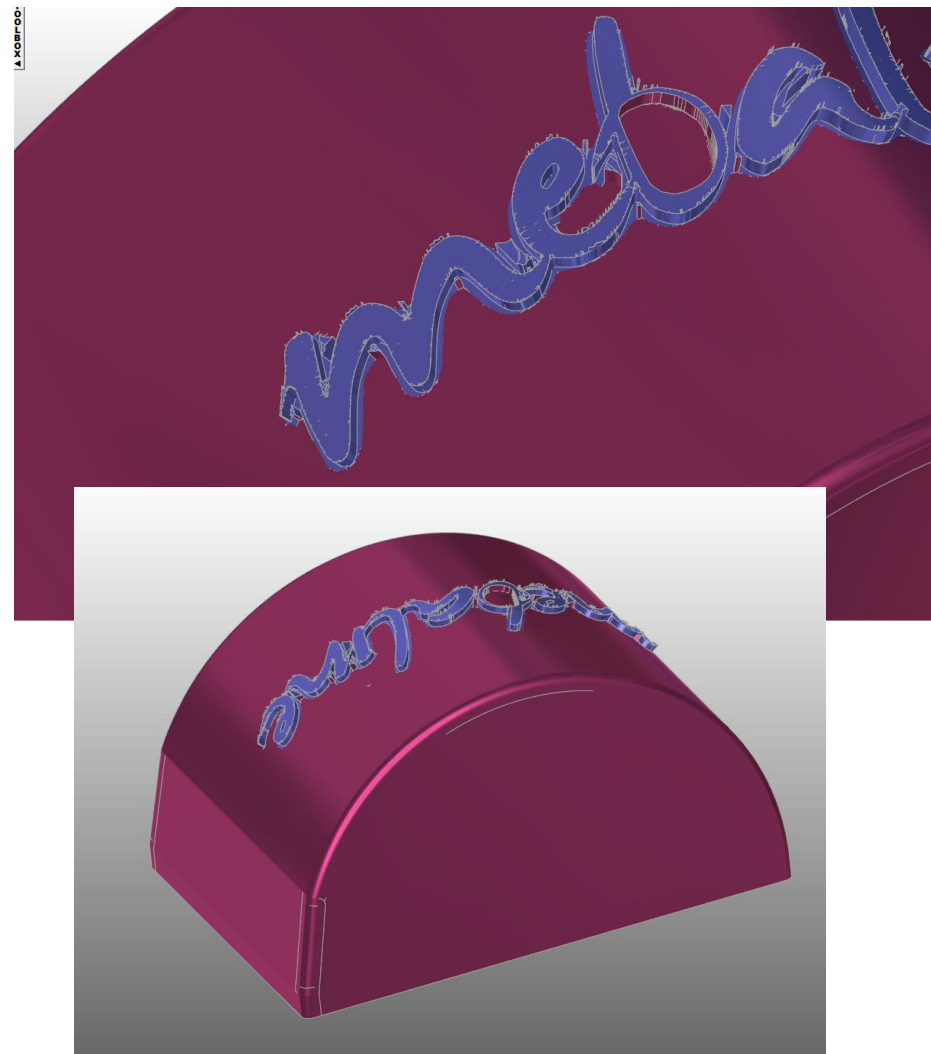
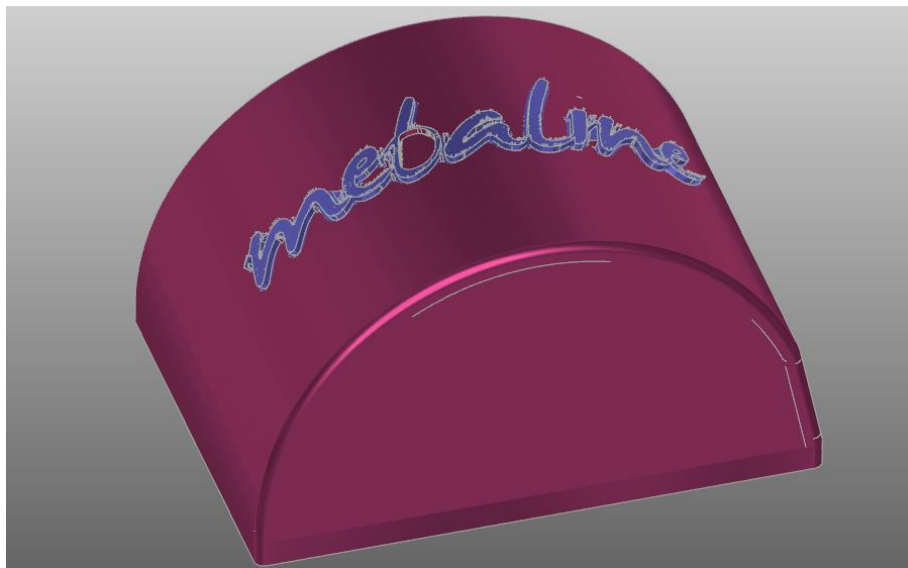


Figura A - 28: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em FeatureCAM. Imperfeições da maquinagem das letras, em cima (dir.).

Programação PowerMILL



Figura A - 29: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em PowerMILL.

Cinzereiro

Programação FeatureCAM

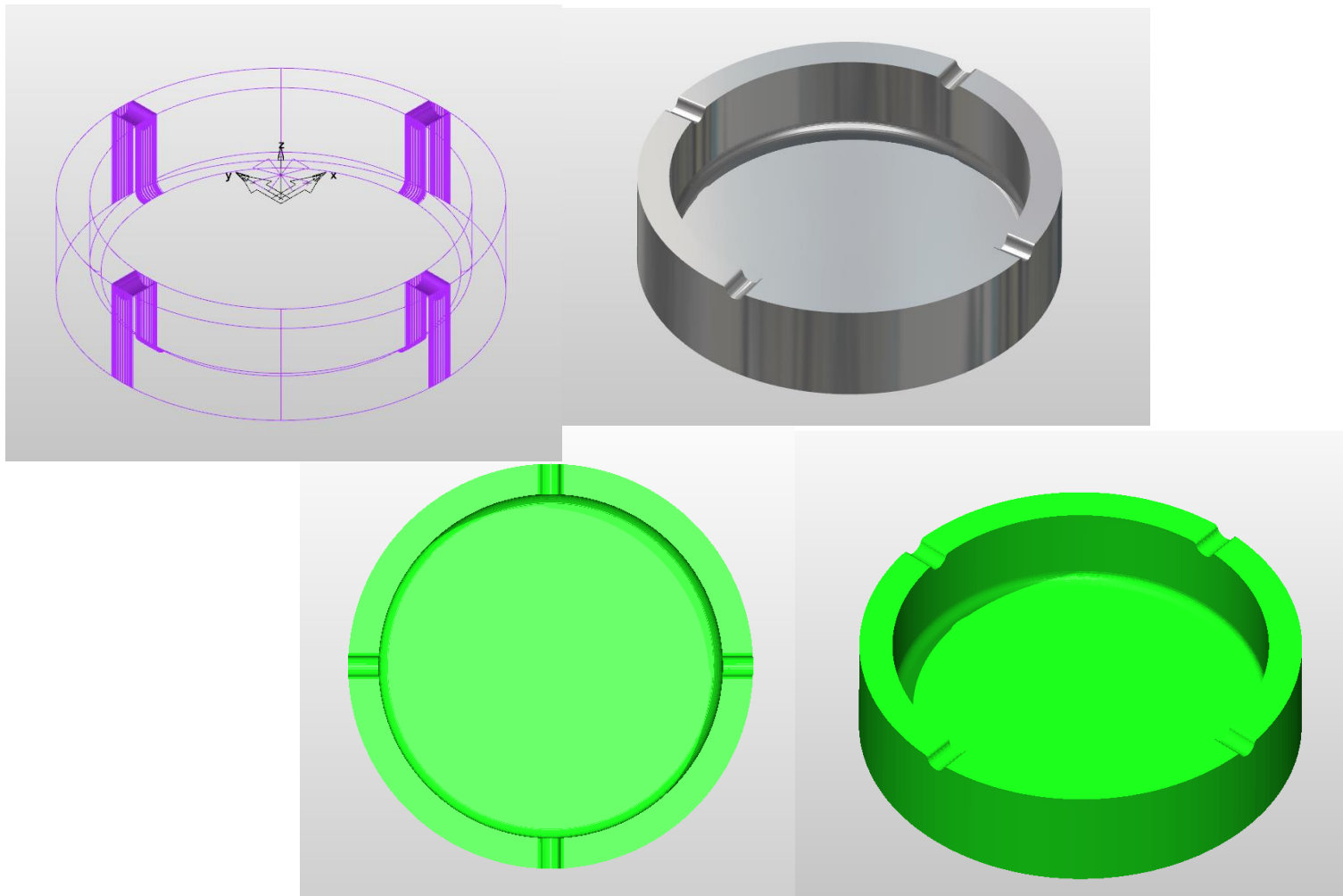


Figura A - 30: à esquerda: Programação efetuada pelo FeatureRECOGNITION. À direita: Resultado da Simulação da Maquinagem em FeatureCAM. Em baixo: Função PartCompare de cor verde, indicando coincidência com o modelo original.

Programação PowerMILL

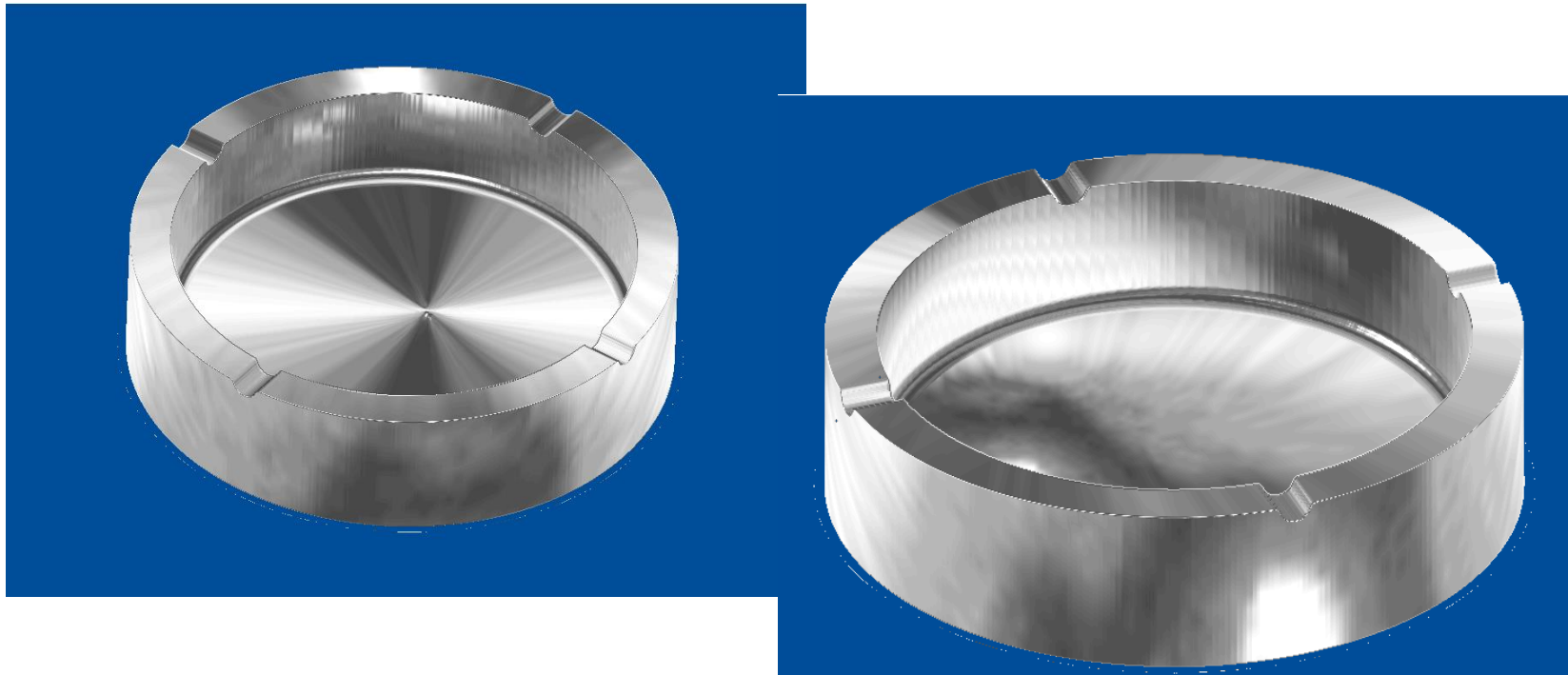


Figura A - 31: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em PowerMILL.

Caixa_Furos

Programação FeatureCAM

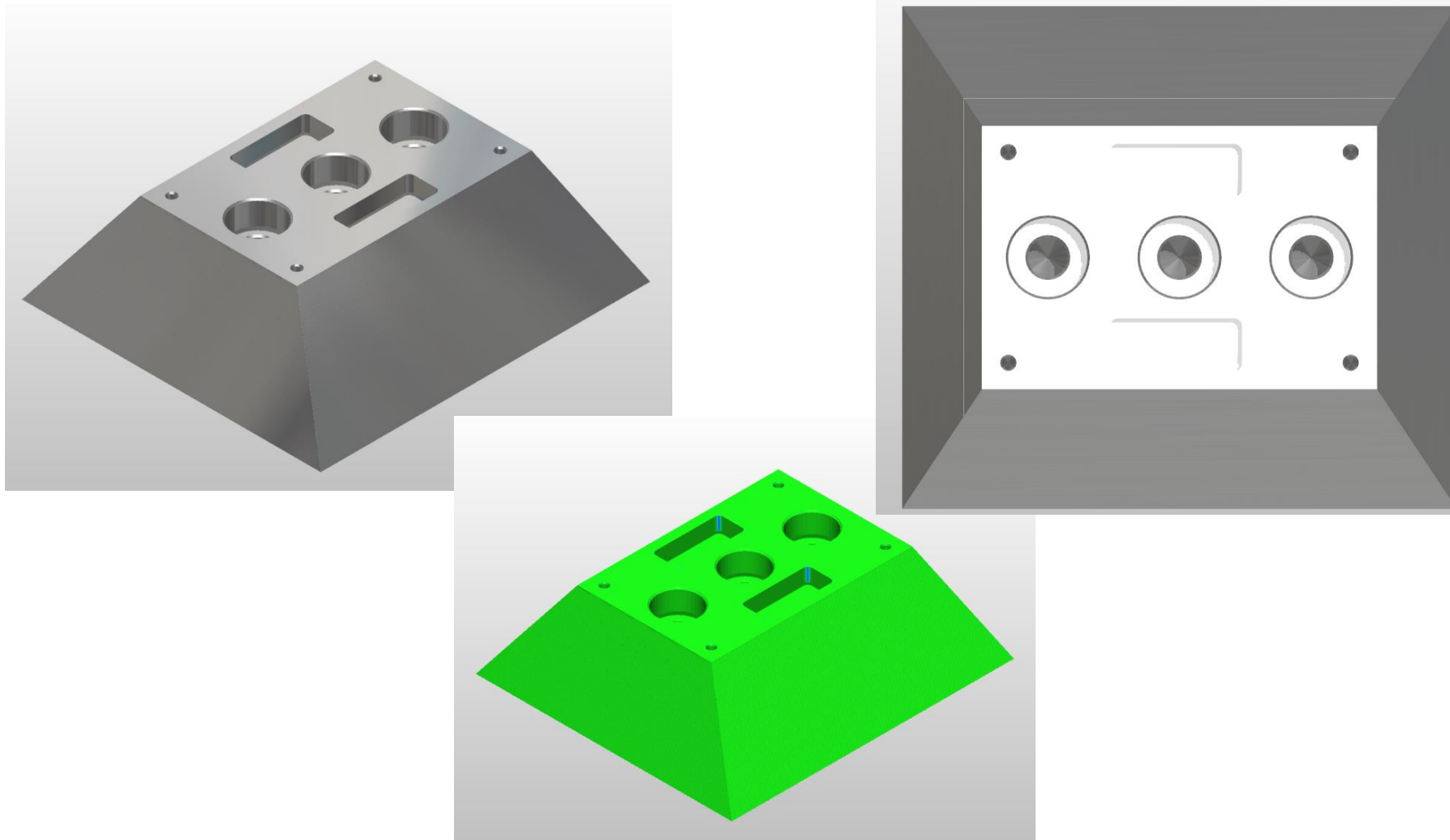


Figura A - 32: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em FeatureCAM. Em baixo, função PartCompare de cor indicando coerência com o modelo original.

Programação PowerMILL

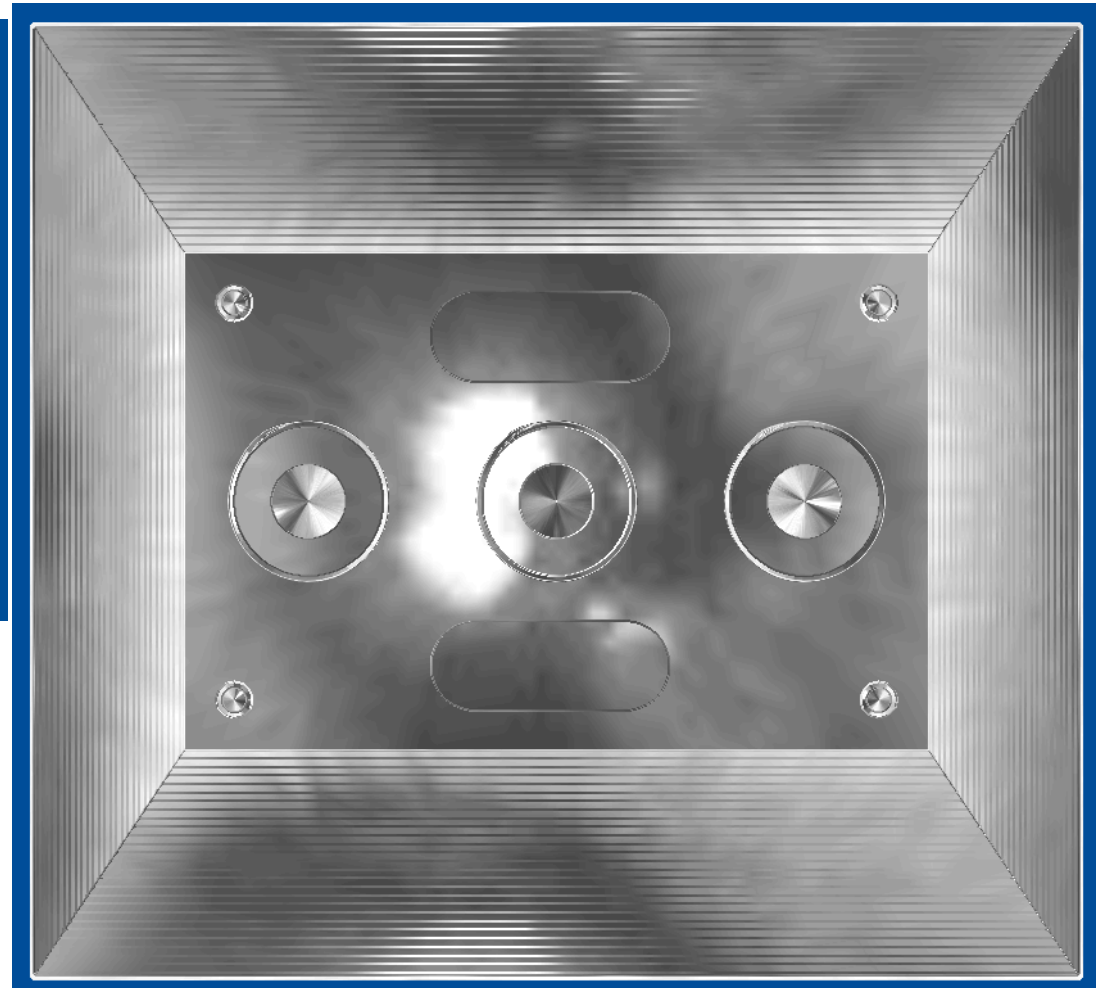
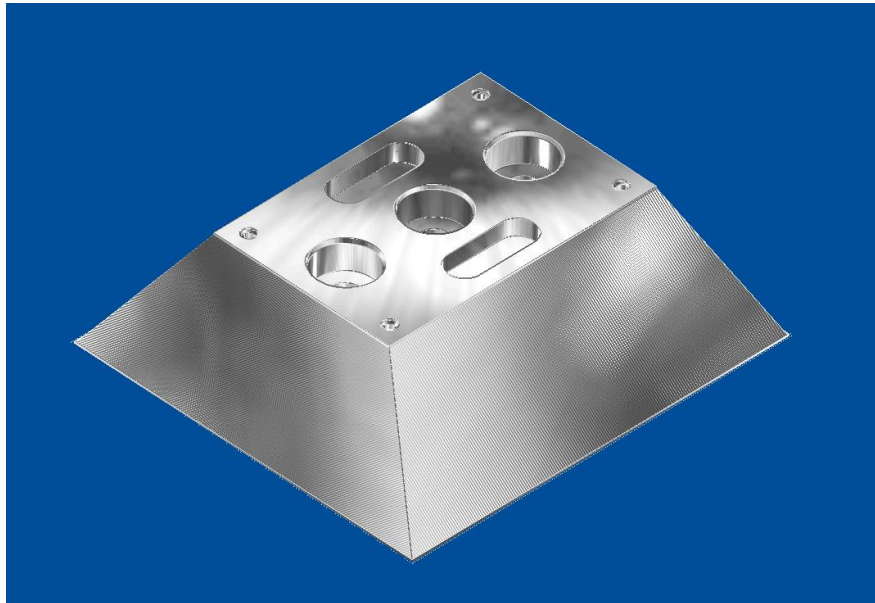


Figura A - 33: Resultado da Simulação da Maquinagem do Modelo em PowerMILL.

Implementação de um torno/fresa no grupo Vangest

Simulação primária da peça - Bucha principal: Perfil; Furação 8.5mm; Fresagem de caixas; Roscagem interior e sangramento.

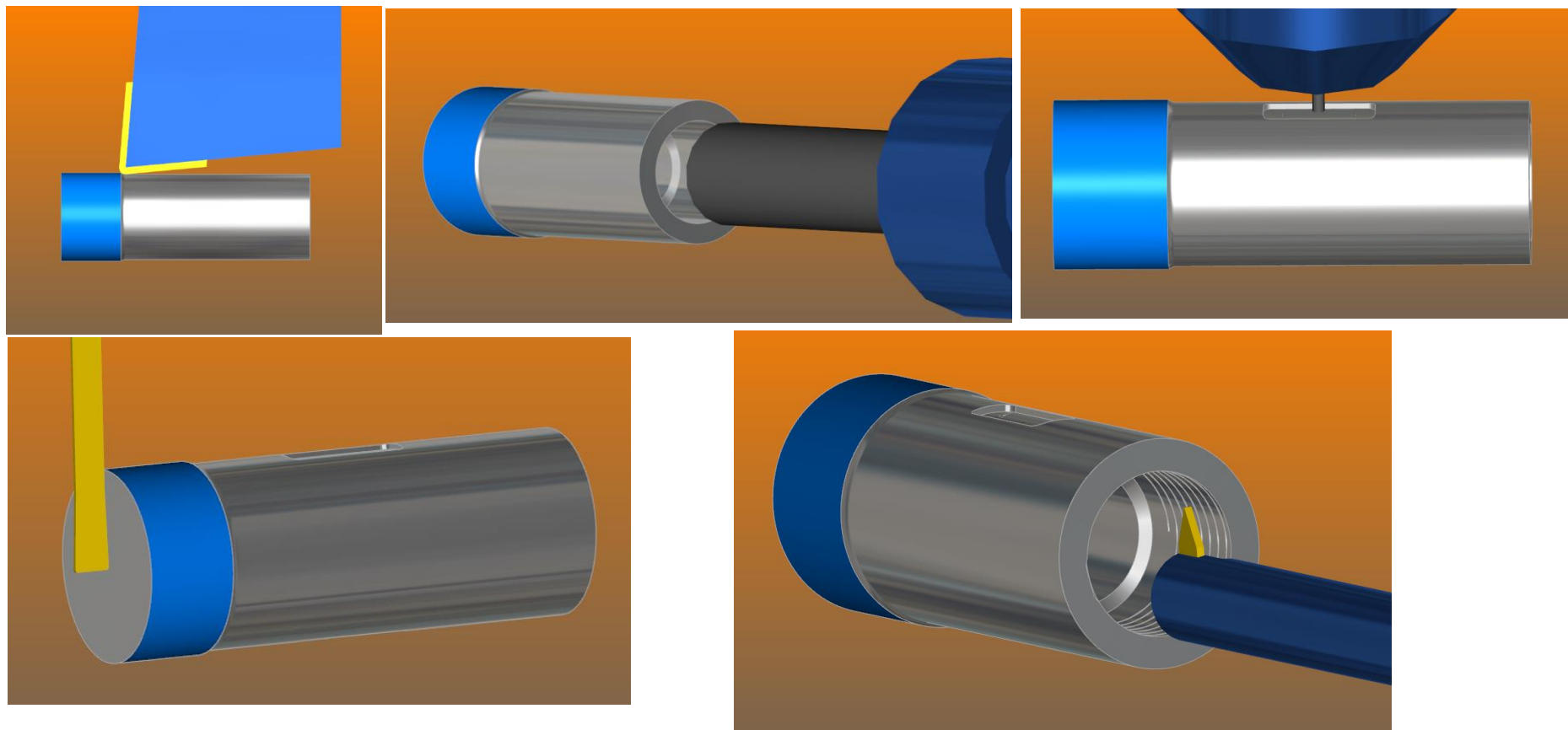


Figura A - 34: Cima, da esquerda para a direita: Perfil; Furação 8.5mm; Fresamento de caixas. Baixo, da esquerda para a direita: Sangramento; Roscagem interior.

Simulação primária da peça - Bucha secundária: Perfil; Roscagem Exterior; Furação 4.5mm.

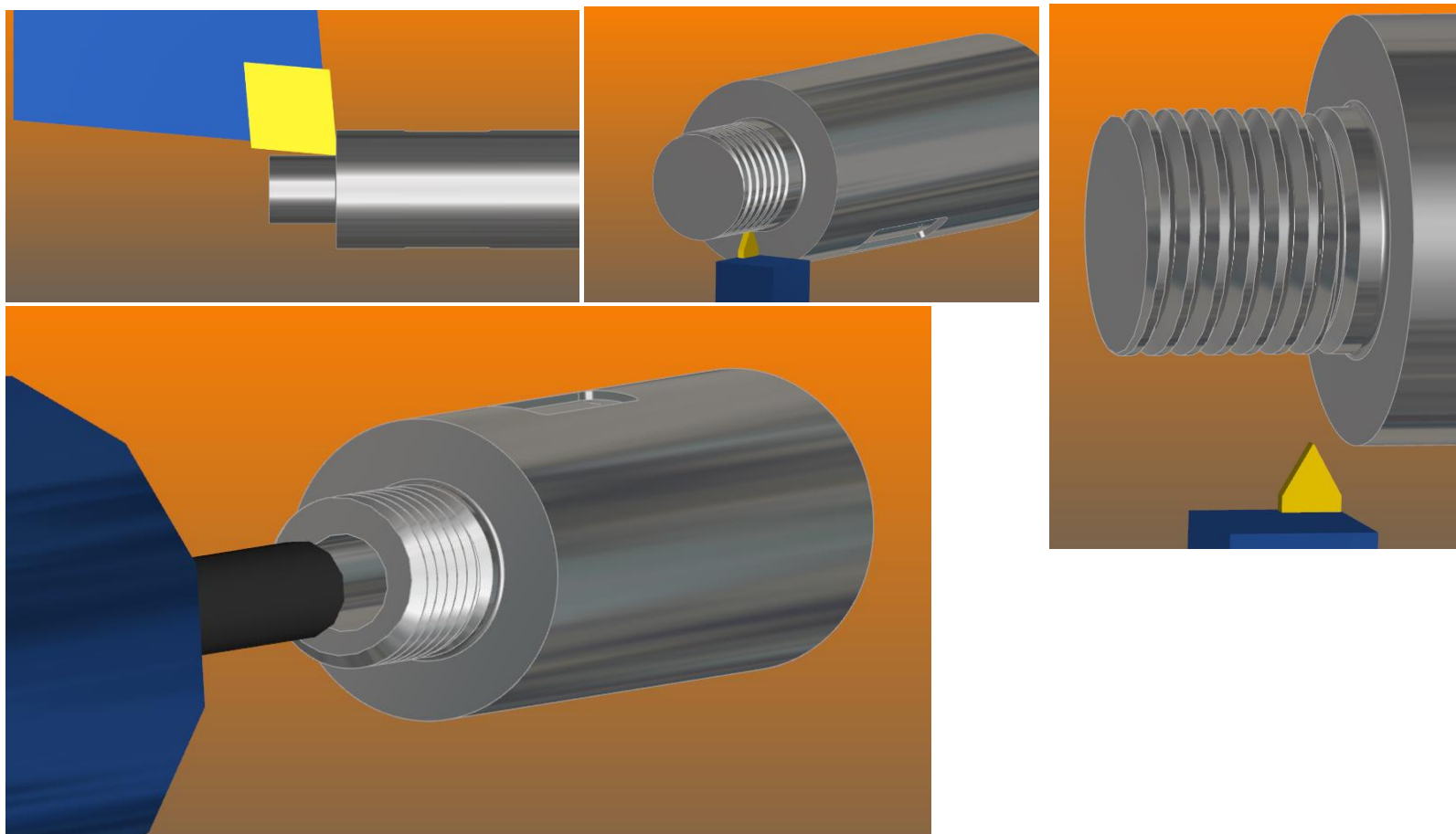


Figura A - 35: Cima, da esquerda para a direita: Perfil; Roscagem exterior(dois exemplos). Baixo: Furação 4.5mm.

Simulação primária da peça - Resultado Final

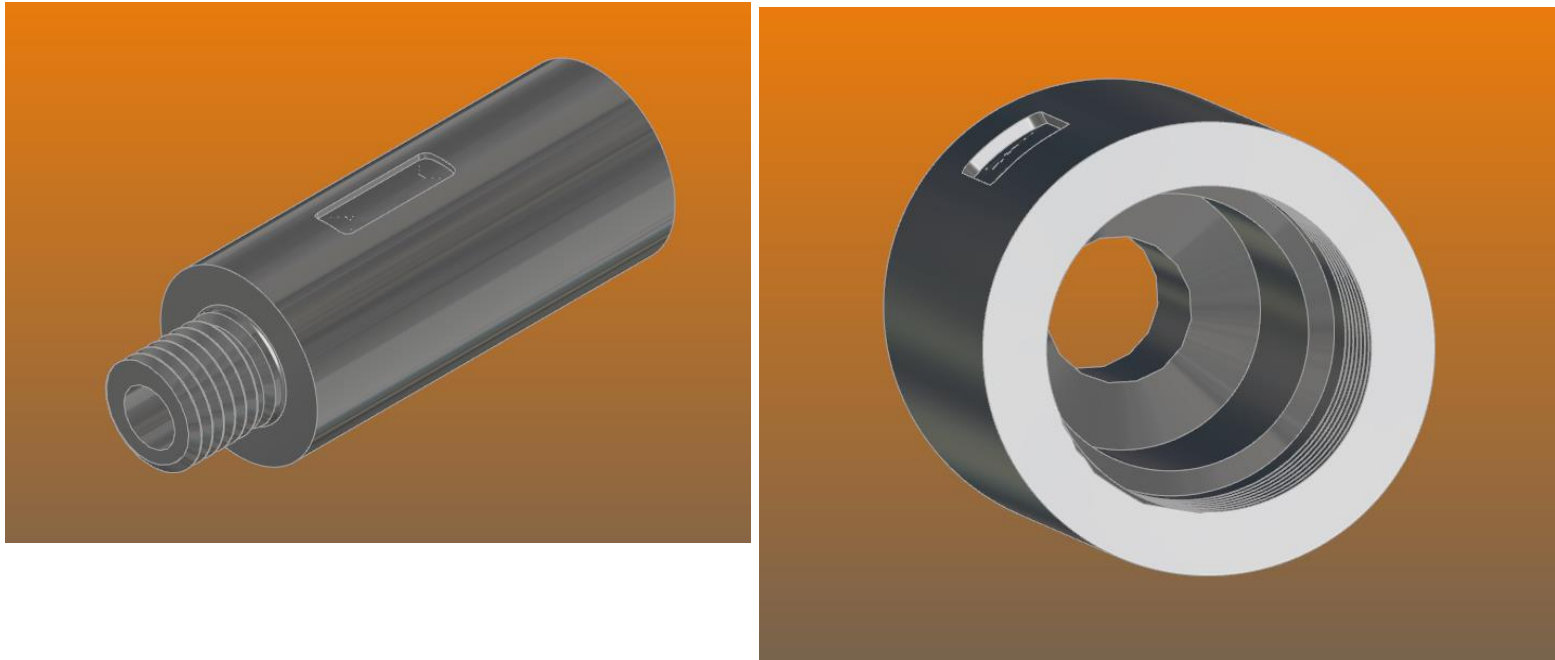


Figura A - 36: Resultado da Simulação de Maquinagem primária da peça.